

MEDIDAS MITIGADORAS DE CONSUMOS DE ENERGIA EM SISTEMAS ELEVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

Aplicação a um Sistema Elevatório da Águas do
Noroeste S.A.

RICARDO JORGE OLIVEIRA GARCIA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Orientador: Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente
Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Coorientador: Professor Doutor Manuel Maria Pacheco Figueiredo
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade
de Engenharia da Universidade do Porto

junho de 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Tel. +351-22-508 1884

Fax +351-22-508 1449



deqdir@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha Família e Amigos

O valor das coisas não está no tempo que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis.

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

A todas as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta tese de mestrado, um enorme obrigado, em especial:

- Ao meu orientador, Professor José Carlos Tentúgal Valente por todo o apoio e disponibilidade no decorrer deste estudo;
- Ao meu coorientador, Professor Manuel Maria Pacheco Figueiredo por todo o apoio e disponibilidade no esclarecimento de dúvidas que surgiram durante o decorrer deste estudo;
- Ao Eng. Ricardo Ferreira (Águas do Noroeste, S.A.) pela disponibilidade e prontidão no fornecimento de dados e esclarecimento de dúvidas;
- A todos os trabalhadores da Águas do Noroeste, S.A. pela receção aquando da visita à empresa e a disponibilidade na cedência de dados.
- Há minha família e amigos que sempre acreditaram em mim e na conclusão desta grande etapa da minha vida.

Resumo

Os sistemas de abastecimento de água assumem um papel relevante no fornecimento de água às populações mas apresentam gastos energéticos muito elevados. De todas as etapas envolvidas no tratamento de água até esta ser fornecida, a elevação de água para os reservatórios, representa uma grande fatia no consumo total de energia elétrica. Assim, a definição de uma política operacional das bombas hidráulicas eficaz é o caminho para a redução dos custos com a energia elétrica de modo a tornar estes sistemas mais eficientes. Com este objetivo em mente, este estudo procura utilizar um algoritmo otimizador existente para encontrar quais os critérios operacionais a aplicar aos grupos elevatórios, para reservatórios de diferentes capacidades, 5000 m³, 10000 m³ e 20000 m³, que através de uma comparação de custos com a elevação, possa ser escolhida a capacidade mais adequada à política encontrada. Devido às variações nos padrões de consumo e no tarifário da energia elétrica, neste estudo, o dia foi dividido em intervalos de tempo de 15 minutos de maneira a que coincidisse com os períodos do tarifário energético. Foram utilizados os dados relativos aos meses de maio e junho, pertencentes à hora legal de verão, e os meses de outubro e novembro, relativos à hora legal de inverno. Em cada mês, e como existe variação na tarifa da energia elétrica em função do dia da semana em questão, foram tidos em conta os padrões de consumo e essa variação na tarifa elétrica, os dias úteis, os sábados e os domingos. O algoritmo otimizador usado encontra-se desenvolvido em Excel de maneira a que, depois de encontrada a política operacional das bombas hidráulicas torna-se necessário testá-la num simulador hidráulico, o EPANET 2.0. Os resultados obtidos neste programa, prático e de livre utilização, foram próximos dos obtidos com o algoritmo. Foi ainda realizada uma análise económica com os resultados obtidos pela simulação hidráulica de modo a encontrar qual o período de retorno do investimento feito na construção dos reservatórios, com as poupanças obtidas através da política operacional definida. Com a ampliação da capacidade do reservatório para 10000 m³, a poupança média mensal relativamente à situação de referência é de 29,2 €/dia, para o mês de outubro, 29,3 €/dia, para o mês de novembro, 65,9 €/dia, para o mês de maio e de 25,8 €/dia, para o mês de junho. O aumento de capacidade para os 20000 m³, representaria, em conjunto com os critérios operacionais, uma poupança média mensal de 67,7 €/dia, para o mês de outubro, de 31,0 €/dia, para o mês de novembro, de 25,9 €/dia, para o mês de maio e de 21,5 €/dia, para o mês de junho. Anualmente, estas poupanças médias assumiriam os valores de 37,2 €/dia, para a capacidade do reservatório de 10000 m³, e de 48,3 €/dia, para a capacidade de 20000 m³. Estas poupanças anuais contribuiriam para amortizar 79% do investimento na construção do reservatório de 10000 m³ e 68% do investimento no reservatório de 20000 m³.

PALAVRAS-CHAVE: abastecimento de água, estações elevatórias, eficiência económica, otimização, EPANET 2.0.

ABSTRACT

The water supply system assumes a relevant role in the water provision to population but have very high energy expenditure. Of all the steps involved in water treatment until it is provided, the elevation of water to the reservoirs is a large share in total energy consumption. Thus, the definition of an effective operational policy of hydraulic pumps is the way to reduce the cost of electric energy in order to make these systems more efficient. With this goal in mind, this study seeks to use an existing optimizer algorithm to find which operational criteria to be applied to elevating groups of reservoirs of different capacities, 5000 m³, 10000 m³ and 20000 m³, which through a cost comparison of the elevation, can be chosen the most appropriate capacity to the policy. Due to changes in consumption patterns and in the electricity tariff, in this study, the day was divided into 15 minute intervals in order to coincide with the periods of the energy tariff. It was used the data for the months of May and June, belonging to the legal summer time, and the data for the months of October and November, belonging to the legal winter time. Each month, and as there is variation in the electricity tariff based on the day of the week in question were taken into account the consumption patterns and the variation of the electric tariff in weekdays, Saturdays and Sundays. The optimizer algorithm used is developed in Excel so that, after finding the operational policy of hydraulic pumps becomes necessary to test it in a hydraulic simulator, the EPANET 2.0. The results of this program, practical and free, were close to those obtained with the algorithm. An economic analysis was also performed with the results obtained by hydraulic simulation in order to find out what is the payback period of the investment made with the construction of reservoirs, with the savings obtained through the defined operational policy. With the expansion of the reservoir capacity to 10000 m³, the average monthly savings relative to baseline is 29,2 €/day for the month of October, 29,3 €/day for the month of November, 65,9 €/day, for the month of May and 25,8 €/day for the month of June. The capacity increase to 20000 m³, represent, together with the operational criteria, an average monthly savings of 67,7 €/day for the month of October, 31,0 €/day for the month of November, 25,9 €/day for the month of May and 21,5 €/day for the month of June. Every year, these average savings assume values of 37,2 €/day to 10000 m³ capacity of the reservoir, and 48,3 €/day to 20000 m³ capacity. These annual savings would help pay off 79% of the investment in the construction of the 10000 m³ reservoir and 68% of investment in the 20000 m³ reservoir.

KEY WORDS: water supply, pumping stations, economic efficiency, optimization, EPANET 2.0.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	3
2.1	Funcionamento de um Sistema de Abastecimento de Água.....	3
2.2	Origem / Captação	4
2.3	Tratamento	6
2.4	Armazenamento	8
2.5	Transporte / Adução.....	9
2.6	Tarifa da Energia Elétrica	10
2.7	Estratégias de Redução dos Custos com a Energia Elétrica	13
2.8	Ciclo de Vida	14
2.8.1	Evolução Histórica	14
2.8.2	Metodologia usada.....	17
2.8.3	Custos de Ciclo de Vida aplicados aos Sistemas de Abastecimento de Água	18
3	CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM PORTUGAL.....	21
3.1	A Águas de Portugal, S.A.	21
3.2	PEAASAR I e PEAASAR II	22
3.3	PENSAAR 2020	23
4	SOFTWARE UTILIZADO PARA MODELAÇÃO E OTIMIZAÇÃO	27
4.1	EPANET 2.0	27
5	ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO	31
5.1	Determinação das questões-alvo.....	31
5.2	Modelo de controlo	32
5.3	Variável de controlo.....	32
5.4	Função Objetivo.....	34
5.5	Restrições do problema de otimização	34
5.6	Funcionamento do Algoritmo de Otimização.....	37
5.7	A Simulação Hidráulica usando o algoritmo	38
6	CASO DE ESTUDO – ÁGUAS DO NOROESTE S.A	43
6.1	A Empresa.....	43
6.2	Caracterização energética da empresa Águas do Noroeste, S.A.	45

6.3	Processo Produtivo da ETA de Areias de Vilar.....	48
6.3.1	Captação superficial, armazenamento e elevação de água bruta.....	49
6.3.2	Pré - ozonização.....	49
6.3.3	Remineralização	49
6.3.4	Coagulação/Floculação.....	49
6.3.5	Decantação.....	49
6.3.6	Filtração	50
6.3.7	Desinfecção final e ajuste final de pH.....	50
6.3.8	Armazenamento e elevação de água tratada.....	50
6.3.9	Linha de tratamento de lamas	50
7	SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ADUTORA EM ESTUDO	53
7.1	Modelo Hidráulico	55
7.1.1	Reservatórios	55
7.1.2	Estação Elevatória	56
7.1.3	Sistema Adutor	57
7.1.4	Padrão horário de consumo	58
7.1.5	Padrão Horário da Tarifa Elétrica.....	59
7.2	A Simulação hidráulica com a utilização do EPANET	59
7.2.1	Construção do ficheiro com a rede modelada	59
7.2.2	Dados de entrada no programa	60
8	RESULTADOS OBTIDOS. CONCLUSÕES.....	61
8.1	Considerações iniciais.....	61
8.2	Os resultados obtidos	62
8.2.1	Resultados obtidos com o algoritmo de otimização	62
8.2.2	Resultados obtidos após simulação no EPANET	63
8.2.3	Análise económica.....	81
9	CONCLUSÕES FINAIS	85
	BIBLIOGRAFIA.....	97
	ANEXO A - Fatores Horários de Consumo	89
	ANEXO B - Fatores Horários da Tarifa Elétrica	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de funcionamento de um Sistema de Abastecimento de Água (Martins, 2014).	3
Figura 2 - Captação de água superficial (Águas do Norte, 2015).	5
Figura 3 - Captação de água subterrânea (Sousa, et al., 2007).	6
Figura 4 - Reservatório de Aboim (Águas do Norte, 2015).	9
Figura 5 – Exemplo de uma rede de abastecimento modelada no EPANET 2.0.	29
Figura 6 - Exemplo de resultados obtidos do EPANET 2.0.	29
Figura 7 - Curvas fundamentais na aplicação do método de Conti (Almeida, 2010).	36
Figura 8 - Volumes de água acumulados elevados e consumidos. Volumes de água no reservatório (Figueiredo, et al., 2007).	37
Figura 9 - Volumes de água acumulados elevados e consumidos. Tempo de funcionamento das bombas (Figueiredo, et al., 2007).	38
Figura 10 - Variação dos níveis de água e tempos de funcionamento das bombas. Critérios operacionais. (Figueiredo, et al., 2007).	39
Figura 11 – Exemplo da introdução de dados no algoritmo otimizador.	40
Figura 12 - Exemplo 2 da introdução de dados no algoritmo otimizador.	41
Figura 13 - Exemplo do resultado do algoritmo otimizador para um caso analisado no estudo desenvolvido.	41
Figura 14- Logotipo da empresa.	43
Figura 15 - Mapa dos municípios abrangidos pela empresa.	44
Figura 16 - Gráficos do Consumo e do Custo da energia elétrica, em 2014.	45
Figura 17 - Distribuição do consumo e do custo com a energia consumida por subsistema, em 2014.	46
Figura 18 - Distribuição dos custos no Subsistema de Areias de Vilar, em 2014.	46
Figura 19 - Distribuição dos consumos de energia pelas operações da ETA, em 2014.	47
Figura 20 - Fluxograma do processo produtivo da ETA de Areias de Vilar.	48
Figura 21 - Mapa dos municípios pertencentes à concessão da empresa Águas do Norte S.A.	51
Figura 22 - Localização da ETA de Areias de Vilar.	53
Figura 23 - ETA de Areias de Vilar.	54
Figura 24 - ETA de Areias de Vilar, conduta de elevação e reservatório de Adães.	54
Figura 26 – Modelação da Estação Elevatória EE01.	55
Figura 25- Representação do modelo simplificado do sistema adutor em estudo.	55
Figura 27- Vista pormenor do Reservatório de Adães e dos nós de consumo (FT001 e FT004).	56
Figura 28 - Curva Característica das bombas em função do caudal.	57
Figura 29 - Curva de Rendimentos em função do caudal.	57
Figura 30 - Volumes de água armazenados e tempos de funcionamento das bombas hidráulicas para os dias úteis de maio e para uma capacidade do reservatório de 5000 m ³	62

Figura 31 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.	63
Figura 32 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.....	64
Figura 33 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.	65
Figura 34 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.....	65
Figura 35 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.	66
Figura 36 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.....	67
Figura 37 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.	68
Figura 38 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.....	68
Figura 39 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.	69
Figura 40 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.....	70
Figura 41 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.	71
Figura 42 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.....	71
Figura 43 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.	72
Figura 44 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.....	73
Figura 45 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.	74
Figura 46 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.....	74
Figura 47 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.	75
Figura 48 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.....	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Duração dos períodos tarifários.....	11
Tabela 2 - Custo da Componente Fixa, em €/kWh.	12
Tabela 3 - Custo da Componente Variável, em €/kWh.	12
Tabela 4 - Preço final da energia com IVA, em €/kWh.	13
Tabela 5 - Valores da energia consumida (kWh) e do custo com a energia consumida (Euros) de cada uma das componentes dos serviços que a empresa oferece, em 2014..	45
Tabela 6- Características do RNV (Reservatório de Adães).	56
Tabela 7 - Caudais médios de um dia médio das épocas do ano usadas, para os dias úteis, para o sábado e o domingo.....	58
Tabela 8 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.	64
Tabela 9 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.	66
Tabela 10 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.	67
Tabela 11 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.	69
Tabela 12 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.	70
Tabela 13 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.	72
Tabela 14 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.	73
Tabela 15 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.	75
Tabela 16 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.	76
Tabela 17 – Resumo dos relatórios de energia obtidos do EPANET para as diferentes capacidades e dias da semana, do mês de junho.....	77
Tabela 18 – Resumo dos relatórios de energia obtidos do EPANET para as diferentes capacidades e dias da semana, do mês de outubro.	78
Tabela 19 – Resumo dos relatórios de energia obtidos do EPANET para as diferentes capacidades e dias da semana, do mês de novembro.	80
Tabela 20 – Poupança diária e média mensal relacionada com o aumento da capacidade do reservatório quando comparados os custos entre as novas capacidades e a situação de referência.	82
Tabela 21 - Poupança média anual, em €/dia, com o aumento da capacidade do reservatório.	83
Tabela 22 - Custos estimados do investimento na construção dos reservatórios de 10000 m ³ e 20000 m ³	83
Tabela 23 - Período de amortização do investimento no reservatório de capacidade de 10000 m ³	84
Tabela 24 - Período de amortização do investimento no reservatório de capacidade de 20000 m ³	84

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem primário essencial à vida. Como bem de primeira necessidade, este recurso natural é um direito humano pelo que, os Sistemas de Abastecimento de Água assumem um importante papel no seu fornecimento. Para satisfazer as necessidades dos consumidores, estes produtores de água tratada consomem grandes quantidades de energia elétrica, desde a sua captação até ao seu transporte, o que representa um grande encargo financeiro.

Ao analisar o consumo de energia elétrica de todas as etapas deste processo de produção de água, aquela que apresenta o maior peso no consumo é a elevação. Com isto, os diferentes padrões de consumo de água acompanhados das variações na tarifa da energia elétrica, conduzem a janelas de oportunidade para estudos relacionados com a otimização da operação dos grupos elevatórios, satisfazendo as obrigações no fornecimento de água, conforme as necessidades dos consumidores, com menor custo para a empresa. Os resultados desses estudos são algoritmos otimizadores, capazes de reduzirem o custo energético resultante da operação das bombas hidráulicas através da determinação de políticas operacionais ótimas, não descurando as limitações físicas e operacionais que caracterizam uma rede de distribuição. Estes algoritmos constituem uma metodologia prática e eficaz sem que seja necessário fazer alterações nas infra estruturas existentes.

O objetivo geral deste estudo é a utilização de um algoritmo otimizador existente, de modo a definir quais as políticas operacionais ótimas dos grupos elevatórios para reservatórios de diferentes capacidades que, através da comparação dos custos com a elevação, possa ser definida qual a capacidade mais ajustada a essa política, tendo em conta os diferentes padrões de consumo e tarifas energéticas que são impostos nos diferentes intervalos de tempo. Após este estudo, é ainda analisado o impacto financeiro da construção dos reservatórios com diferentes capacidades na poupança obtida com a política operativa encontrada. É ainda definido qual o “payback time” para amortizar o investimento na construção dos referidos reservatórios.

De modo a cumprir com estes objetivos, recorreu-se ao Excel, onde estava introduzido o algoritmo otimizador, e a um “software” de simulação hidráulica, EPANET 2.0, de modo a modelar a rede de abastecimento e a simular o resultado obtido.

Para verificar a aplicabilidade da metodologia proposta e proceder à sua avaliação foi utilizado como modelo uma parcela de uma rede de abastecimento de água, cuja exploração pertence à entidade gestora Águas do Noroeste S.A..

2 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2.1 FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os Sistemas de Abastecimento de Água – simplificados por SAAG, são a base/origem da água consumida pelas populações e englobam um conjunto de fases essenciais, para a obtenção de água de qualidade que possa ser consumida, sendo elas: a Origem/Captação (representa o conjunto de equipamentos e instalações usados na tomada/captação de água), o Tratamento (etapa onde é feita uma melhoria das características qualitativas da água, dos pontos de vista físico, químico, bacteriológico e organolético), o Transporte (assegura o transporte da água a partir da zona de captação ou da fase de Tratamento), o Armazenamento e a Distribuição/Utilização (condução da água para os pontos de consumo). Em termos da fase de “Tratamento”, esta pode ser realizada em duas vertentes: o tratamento ser realizado a montante do transporte ou o tratamento ser realizado a jusante do transporte, podendo alocar-se à rede de distribuição, em certos casos, pequenas instalações de tratamento (por exemplo, de desinfecção) (Vilas-Boas, 2008).

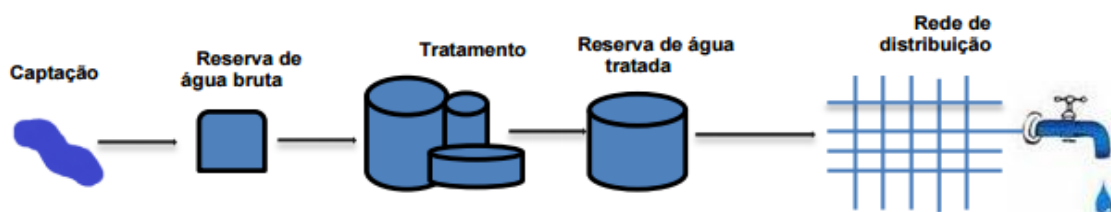


Figura 1 - Esquema de funcionamento de um Sistema de Abastecimento de Água (Martins, 2014).

Dependendo do aglomerado populacional a que um sistema de abastecimento de água se destina, este, pode evidenciar modelos e alterações construtivas significativas, não existindo, portanto, um modelo estanque para a sua construção. Devido à grande importância e ao enorme valor da água para consumo, o estudo e a compreensão do funcionamento dos sistemas de abastecimento de água é crucial a execução das melhores práticas para obter as características mais adequadas deste bem em duas áreas fundamentais (Vilas-Boas, 2008):

- Aspectos sanitários e sociais:
 - Garantia de boas condições de vida de uma comunidade (saúde, conforto e bem estar);
 - Diminuição da taxa de mortalidade (nomeadamente a infantil);
 - Aumento da esperança de vida da população;
 - Diminuição da ocorrência de doenças relacionadas com a qualidade da água;
 - Promoção de hábitos de higiene da população;
 - Facilidade na implantação e melhoria da limpeza pública.
- Aspectos económicos:
 - Aumento da vida produtiva dos indivíduos economicamente ativos;
 - Diminuição das despesas particulares e públicas em instituições hospitalares;
 - Incentivo à instalação de indústrias, onde a água é utilizada como matéria-prima ou meio de operação;
 - Incentivo à indústria turística em localidades com potencialidades para o seu desenvolvimento.

2.2 ORIGEM / CAPTAÇÃO

Esta é a primeira parte e fase de um Sistema de Abastecimento de Água e dela estão dependentes todas as fases subsequentes, portanto, é necessário que esta fase evidencie um constante e bom funcionamento. A conceção e a escolha do local onde se irá realizar a captação da água devem ter em conta (Vilas-Boas, 2008):

- Condições de fácil captação da água em qualquer época do ano;
- Garantia da melhor qualidade da água, dentro do possível;
- Correto funcionamento e proteção contra danos e obstruções;
- Favorecimento da economia das instalações e equipamentos;
- Planeamento e execução cuidadosos das estruturas próximas ou dentro da água, já que a sua ampliação é geralmente difícil e dispendiosa;
- Previsão dos riscos de inundação e sua proteção;
- Distância da captação à estação de tratamento de água;
- Eventuais custos com expropriações;
- Necessidade de estações elevatórias;
- Disponibilidade de energia elétrica para alimentação de motores;
- Facilidade de acesso.

As obras de captação são realizadas com o intuito de recolher a água natural proveniente de cursos de água/albufeiras/mar (águas superficiais) ou reservas subterrâneas (águas subterrâneas). Existe ainda uma terceira alternativa que poderá também ser utilizada que

consiste no aproveitamento das águas pluviais recolhidas de telhados e/ou de superfícies preparadas para o efeito e são encaminhadas posteriormente para cisternas/reservatórios para abastecimento de pequenas comunidades. A tipologia das captações alterna de acordo com as condições locais de hidrologia, de topografia e, no caso das águas subterrâneas, também segundo as condições de hidrogeologia (Vilas-Boas, 2008).

As captações de **águas superficiais** são efetuadas, geralmente, em rios, em lagos ou em albufeiras de aproveitamentos hidráulicos. A tomada de água deve ser realizada o mais a montante possível, favorecendo assim uma proteção contra a poluição causada pela descarga de efluentes urbanos ou industriais. A captação é composta por: barragem/obra de retenção (manutenção do nível da água ou para regularização do caudal), órgãos de tomada de água (com dispositivos que impedem a entrada de materiais flutuantes ou que se encontram em suspensão na água), dispositivos para controlo da entrada de água, canais ou tubagens de interligação e órgãos acessórios (poços de sucção e poços de bombagem para alojar os conjuntos elevatórios, quando necessários). Em caso de extrema escassez, ausência das origens tradicionais de água doce ou vantagens do ponto de vista económico e operacional, a água do mar pode ser considerada viável para captação exigindo, posteriormente, uma remoção total ou parcial dos sais nela dissolvidos (Vilas-Boas, 2008).



Figura 2 - Captação de água superficial (Águas do Norte, 2015).

As captações de **águas subterrâneas** centram-se nos aquíferos para obtenção de água. Esta captação pode ser realizada à superfície, no caso em que existe um afloramento superficial do aquífero, ou a diferentes profundidades. As obras de captação de água subterrânea podem ser classificadas em (Vilas-Boas, 2008):

- Obras horizontais (sanjas, drenos, galerias drenantes e galerias de mina);
- Obras verticais (poços e furos);
- Obras mistas (poços com drenos radiais, poços com galerias drenantes e galerias de mina com poço);
- Câmaras de captação, que consistem em tomadas de água, mono ou multicompartimentadas, destinadas a captarem diretamente nascentes ou exurgências.

A seleção da tipologia de captação de água subterrânea é feita dependendo, fundamentalmente, da estrutura e das características hidrogeológicas do aquífero, e das necessidades e usos da água, que varia conforme o setor a que se destinam (consumo humano, setor industrial ou setor agrícola) (Vilas-Boas, 2008).

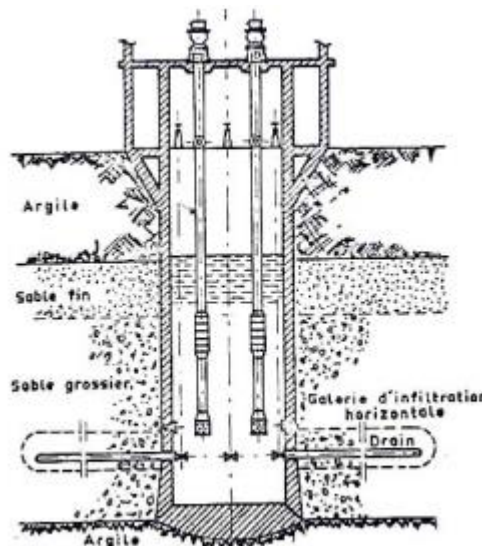


Figura 3 - Captação de água subterrânea (Sousa, et al., 2007).

2.3 TRATAMENTO

Depois de captada, a água é encaminhada para as Estações de Tratamento de Água (ETA) para ser tratada. Dependendo da sua origem a água pode ser submetida a processos de tratamento como a clarificação, constituída pelas etapas da coagulação, da decantação e da filtração, ao processo da desinfecção e da correção química, no caso de ter sido captada superficialmente, ou simplesmente submetida a correção química e a desinfecção, no caso de a água ter origem subterrânea (Vilas-Boas, 2008).

Esta etapa consiste no ajuste das características da água para que sejam adequadas ao consumo humano, mediante processos físicos, químicos e biológicos. As características que uma água para consumo humano deverá possuir são (Vilas-Boas, 2008):

- Ausência de microrganismos como *Escherichia coli* (*E. coli*), *Enterococos*, vírus ou outros potenciadores de causar doenças;
- Ausência de substâncias químicas tóxicas (ausência de contaminação da água);
- Valores baixos para propriedades como a cor, turvação sólidos suspensos, cheiro e sabor (apesar de não prejudicar a saúde, diminuem a qualidade estética da água e confiança no seu consumo)
- Baixo nível de corrosão nos materiais constituintes do sistema de transporte e distribuição de água;
- Baixo teor em calcário de forma a apresentar baixa tendência para causar incrustações nas condutas e outros componentes dos sistemas (a presença de grandes quantidades

de calcário é identificável pela dificuldade de formação de espuma nas lavagens com sabão – água *dura* ou *incrustante*);

- Teores baixos em substâncias como o ferro e o manganês (causadores de manchas, cor ou turvação).

Com um tratamento da água eficaz, é possível alcançar-se as características necessárias para que em conjunto com as suas propriedades, essa água possa ser considerada potável. A designação “Água potável” é usada quando uma água pode ser consumida sem que haja risco para a saúde pública. Em termos legislativos, a Diretiva Europeia 98/83/EC de dezembro de 2003, define a obrigatoriedade de conformidade em parâmetros de qualidade essenciais da água para consumo. O Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, determina as diretrizes e os parâmetros relativos à qualidade da água destinada ao consumo humano, revendo o Decreto-Lei n.º 243/2001 de 5 de setembro, que transpôs para a ordem jurídica interna da Diretiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de novembro.

No processo de Clarificação, os sólidos suspensos na água são removidos resultando na diminuição da turvação e do desaparecimento da cor. Ao chegar à ETA é adicionado à água um coagulante, normalmente sulfato de alumínio, que estimula os sólidos suspensos a aglomerarem-se, a este processo é chamado de Coagulação. Caso os sólidos suspensos tenham reduzidas dimensões, o coagulante promoverá a formação de flocos (Floculação). Para remover as partículas coaguladas recorre-se a um mecanismo em que por ação da gravidade as faz sedimentar facilitando a sua remoção por Decantação. Depois desta etapa, a água segue para a Filtração onde atravessa filtros constituídos por diferentes camadas com materiais de diferentes granulometrias fazendo com que as partículas mais finas que não foram removidas nos processos anteriores, fiquem aí retidas (Vilas-Boas, 2008).

Depois destes processos concluídos, a água segue para o processo de Desinfecção de maneira a garantir uma boa qualidade bacteriológica. Neste processo a cloração é geralmente o método mais adotado visto que o seu efeito residual se faz sentir mesmo depois do tratamento em si favorecendo uma proteção na adução. Neste método a água é posta em contacto com o cloro que pode ser adicionado a esta sob a forma de cloro gasoso, de hipoclorito de sódio ou cal clorada. Em alternativa a este método, pode ser utilizado ozono ou raios ultravioletas tendo o inconveniente de não garantirem a mesma proteção que o cloro na adução, sendo portanto pouco utilizados em Portugal. O último procedimento no tratamento da água é a correção do pH, para proteção das infraestruturas de transporte da água, recorrendo à adição de cal hidratada (Vilas-Boas, 2008).

A realização da etapa de tratamento e de análises laboratoriais, não garante a qualidade da água de um SAAG. Diversas medidas revelam-se extramente importantes e devem ser articuladas em prol desse objetivo, tais como (Vilas-Boas, 2008):

- Prevenção da contaminação dos recursos hídricos (na fase de dimensionamento devem ser evitadas zonas de estagnação em reservatórios e condutas, pois propiciam o desenvolvimento de microrganismos);

- Proteção adequada das captações;
- Adaptabilidade do tratamento às características da água captada;
- Manutenção apropriada do sistema de distribuição (desinfecção e limpeza periódica de condutas e reservatórios);
- Monitorização constante da qualidade da água captada e fornecida aos consumidores;
- Procedimentos rápidos e eficazes face a irregularidades detetadas.

2.4 ARMAZENAMENTO

Como as adutoras não devem ser projetadas para garantirem o abastecimento independentemente das condições de funcionamento, devido a questões económicas, é necessário acumular a água em reservatórios que geralmente se encontram a montante da rede de distribuição, mas podendo também ser localizados em qualquer ponto da rede. Importa referir que as próprias albufeiras de onde é captada a água, são consideradas reservatórios de um SAAG e para além deste, existem reservatórios privativos em prédios que se encontrem isolados ou em prédios situados em zonas onde a pressão da rede é insuficiente ou ainda, em unidades comerciais ou industriais que necessitam de possuir uma certa quantidade de água armazenada (Vilas-Boas, 2008).

Assim, os reservatórios assumem um papel importante num SAAG, tanto em termos económicos como em termos de segurança. As suas principais finalidades são (Vilas-Boas, 2008):

- Regularização dos caudais conduzidos pela adução e posteriormente pelos distribuídos ao longo da rede;
- Reserva de água para situações de interrupção do funcionamento a montante deste (acidentes na captação, avarias nas condutas, manutenção/substituição de bombas);
- Homogeneização das propriedades da água distribuída;
- Balanceamento das pressões nas redes de distribuição;
- Regularização das bombagens caso o reservatório esteja associado a uma estação elevatória.

A classificação dos reservatórios segue diversos parâmetros como (Vilas-Boas, 2008):

- Função (reservatórios destinados à distribuição e regularização ou reservatórios destinados somente à regularização);
- Colocação no terreno:
 - Enterrados;
 - Semienterrados;
 - Apoiados;
 - Elevados.

- Posição em relação ao sistema abastecedor:
 - Reservatórios de origem (caudais para distribuição partem somente a partir deste reservatório);
 - Reservatórios de extremidade (recebem caudais da rede e cedem-nos a outros reservatórios ou novamente à rede de distribuição).
- Forma (circular, elítica, quadrada ou retangular);
- Número de células em que se divide;
- Capacidade;
- Materiais usados na sua construção.

Para não contaminar as águas que armazenam, são implementadas algumas medidas preventivas tais como (Vilas-Boas, 2008):

- Impermeabilização das paredes;
- Localização em zonas onde não ocorrem inundações;
- Afastamento das águas da chuva;
- Proteção dos acessos;
- Proteção de alguns dispositivos como os de descarga e os de extravasão para que animais não lhes tenham acesso ou para impedir a entrada de águas poluídas provenientes de atividades vizinhas.



Figura 4 - Reservatório de Aboim (Águas do Norte, 2015).

2.5 TRANSPORTE / ADUÇÃO

O encaminhamento da água do ponto onde é captada para a ETA e desta para os reservatórios (ou entre reservatórios) é designado de Adução que pode ser de água bruta, no caso do transporte desta para a ETA desde a sua captação, ou de água tratada, quando é transportada ETA para os reservatórios. Existem duas formas de transportar a água, em regime de superfície livre (pouco utilizado por questões económicas, operacionais e de

diminuição da qualidade da água conduzida) e sob pressão. A utilização de escoamentos sob pressão pressupõe um estudo da piezométrica de maneira a que se mantenham as pressões adequadas no interior da conduta e aquando o descarregar da água no destino da adutora.

Para movimentar um determinado volume de água de um ponto localizado a uma dada cota para outro ponto com cota superior, é necessário fornecer ao escoamento energia suficiente para ultrapassar as forças opostas a este movimento ascendente da massa de água. Por se tratar de um movimento “contra natura”, pois a força da gravidade exerce-se na direção do centro da Terra, a energia é fornecida ao escoamento recorrendo a equipamentos com essa finalidade e que são denominados de bombas hidráulicas. Estes equipamentos transformam a energia elétrica em energia mecânica, transmitindo-a, por sua vez, ao escoamento tornando-se, portanto, peças fundamentais em qualquer sistema de abastecimento de água. As estações elevatórias são infraestruturas dos sistemas de abastecimento de água que albergam os equipamentos necessários para promover o escoamento de água aos locais do sistema com cotas mais elevadas, mais distantes ou que necessitem de pressões de vazão mais elevadas. Devido à estreita dependência das bombas hidráulicas com a energia elétrica, à necessidade de operação e manutenção especializada, a estas infraestruturas é, frequentemente, associada a maior percentagem dos gastos energéticos de todo o sistema, sendo essa percentagem de 90%, segundo alguns autores (Almeida, 2010). Resultado das recentes crises energéticas, planos de contenção de despesas operacionais foram elaborados e executados tentando-se otimizar o funcionamento das estações elevatórias de maneira a não prejudicar as metas financeiras das empresas ou o custo final da água (Costa, 2009). Assim, quando possível e caso as condições topográficas sejam favoráveis, deve-se recorrer a adutoras gravíticas (Vilas-Boas, 2008).

2.6 TARIFA DA ENERGIA ELÉTRICA

Atendendo ao **Regulamento Tarifário do setor elétrico (2014)**, publicado no Diário da República como **Regulamento n.º 551/2014**, da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) e, de acordo com o constante no **artº 28** do mesmo regulamento, considera-se que (ERSE, 2014):

- Os períodos tarifários dividem-se em trimestrais e horários;
 - a) Os períodos tarifários trimestrais compreendem:
 1. Período I – de 1 de janeiro a 31 de março;
 2. Período II – de 1 de abril a 30 de junho;
 3. Período III – de 1 de julho a 30 de setembro;
 4. Período IV – de 1 de outubro a 31 de dezembro.
 - b) Os períodos tarifários horários são constituídos por:

5. Horas de Ponta;
 6. Horas Cheias;
 7. Horas de vazio normal;
 8. Horas de super vazio.
- O período horário de vazio aplicável nas tarifas com dois e três períodos horários engloba os períodos horários de vazio normal e de super vazio.
 - O período horário de fora de vazio aplicável nas tarifas com dois períodos horários engloba os períodos horários de ponta e cheias.
 - A duração dos períodos tarifários horários é diferente de acordo com a hora legal em que se enquadram (Período II e III – Hora legal de verão e Período I e IV – Hora legal de inverno), o ciclo semanal e com o ciclo horário. A Tabela 1 evidencia essas diferenças de duração dos períodos tarifários.
 - Para os clientes em Média Tensão, Alta Tensão e Muito Alta Tensão com ciclo semanal os feriados nacionais são considerados como períodos de vazio.

Tabela 1 - Duração dos períodos tarifários

		Hora legal de inverno		Hora legal de verão			
		P.T. Horário	Duração diária	Duração horária	P.T. Horário	Duração diária	Duração horária
Segunda a Sexta-feira	Ponta		5 h/dia	09:30 a 12:00 18:30 a 21:00	Ponta	3 h/dia	09:15 a 12:15
	Cheias		12 h/dia	07:00 a 09:30 12:00 a 18:30 21:00 a 24:00	Cheias	14 h/dia	07:00 a 09:15 12:15 a 24:00
	Vazio normal		3 h/dia	00:00 a 02:00 06:00 a 07:00	Vazio normal	3 h/dia	00:00 a 02:00 06:00 a 07:00
	Super vazio		4 h/dia	02:00 a 06:00	Super vazio	4 h/dia	02:00 a 06:00
Sábados	Cheias		7 h/dia	09:30 a 13:00 18:30 a 22:00	Cheias	7 h/dia	09:00 a 14:00 20:00 a 22:00
	Vazio normal		13 h/dia	00:00 a 02:00 06:00 a 09:30 13:00 a 18:30 22:00 a 24:00	Vazio normal	13 h/dia	00:00 a 02:00 06:00 a 09:00 14:00 a 20:00 22:00 a 24:00
	Super vazio		4 h/dia	02:00 a 06:00	Super vazio	4 h/dia	02:00 a 06:00
Domingos	Vazio normal		20 h/dia	00:00 a 02:00 06:00 a 24:00	Vazio normal	20 h/dia	00:00 a 02:00
	Super vazio		4 h/dia	02:00 a 06:00	Super vazio	4 h/dia	02:00 a 06:00

Segundo a mesma Entidade Reguladora, os preços em vigor relativamente à energia elétrica fornecida em Alta Tensão e no que diz respeito à componente fixa da energia (€/kWh), e designados por Período Tarifário Trimestral e Horário estão representados na tabela seguinte.

Tabela 2 - Custo da Componente Fixa, em €/kWh.

Custo da Componente Fixa (€/kWh)				
Períodos Tarifários Horários	Períodos Tarifários Trimestrais			
	I	II	III	IV
super vazio	0,0170	0,0172	0,0172	0,0170
vazio normal	0,0175	0,0175	0,0175	0,0175
Horas Cheias	0,0265	0,0265	0,0265	0,0265
Horas de Ponta	0,0306	0,0304	0,0304	0,0306

Quanto à componente variável da energia, os preços estão estabelecidos no contrato celebrado com a empresa fornecedora da energia e encontram-se expressos na tabela abaixo, em €/kWh e por Período Tarifário Trimestral e Horário.

Tabela 3 - Custo da Componente Variável, em €/kWh.

Custo da Componente Variável (€/kWh)				
Períodos Tarifários Horários	Períodos Tarifários Trimestrais			
	I	II	III	IV
super vazio	0,037385	0,037385	0,037385	0,037385
vazio normal	0,047061	0,047061	0,047061	0,047061
Horas Cheias	0,057829	0,057829	0,057829	0,057829
Horas de Ponta	0,063384	0,063384	0,063384	0,063384

De salientar que o valor resultante da soma dos preços da componente fixa com a componente variável, acrescido do IVA à taxa legal aplicável (6%), é o preço final da energia, em €/kWh, praticados nas entregas em Alta Tensão. Na tabela seguinte, é evidenciado o preço final da energia por Período Tarifário Trimestral e Horário, com a aplicação do IVA à taxa legal aplicável.

Tabela 4 - Preço final da energia com IVA, em €/kWh.

Preço final da energia com IVA (€/kWh)				
Períodos Tarifários Horários	Períodos Tarifários Trimestrais			
	I	II	III	IV
super vazio	0,057648	0,05786	0,05786	0,057648
vazio normal	0,068435	0,068435	0,068435	0,068435
Horas Cheias	0,089389	0,089389	0,089389	0,089389
Horas de Ponta	0,099623	0,099411	0,099411	0,099623

2.7 ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DOS CUSTOS COM A ENERGIA ELÉTRICA

Como foi dito anteriormente, as Estações Elevatórias são considerados os órgãos mais dispendiosos em termos energéticos num SAAG. Para se conseguir alcançar uma redução dos custos com a energia elétrica existem três campos que podem ser manipulados, classificados por Tsutiya (2001) *apud* Filho (2006) (Vilas-Boas, 2008; Costa, 2009):

- Redução do custo sem diminuição do consumo de energia elétrica:

Neste aspeto, podem agrupar as medidas propostas sob duas formas, i) as medidas que não necessitam de investimento (alterações administrativas) como alterações na potência contratada ou do tarifário negociado com o fornecedor de energia, e ii) as medidas que carecem de investimento que compreendem, por exemplo, correção do fator de potência¹, a melhoria do fator de carga² ou a alteração da tensão de alimentação da Estação Elevatória.

- Redução do custo pela diminuição do consumo de energia elétrica:

As medidas integradas neste aspeto podem ter como finalidade a diminuição da perda de carga contínua influenciando assim a altura manométrica da instalação que se vê assim reduzida. Estas medidas podem consistir na substituição do diâmetro das condutas, caso se efetuar um estudo para apurar o diâmetro mais rentável economicamente para a conduta e este não se revelar próximo do existente, na verificação e controlo de fugas de água existentes no sistema adutor ou na rede de distribuição, na limpeza das condutas, diminuindo assim a

¹ Quociente da potência ativa (kW) pela potência aparente (kVA) ou fornecida.

² O fator de carga expressa a relação entre a energia consumida, durante um dado período, e a energia consumida na hipótese de, durante o mesmo intervalo de tempo, se utilizar continuamente a carga máxima. Este índice demonstra se a energia consumida está a ser utilizada da melhor maneira, ou seja, de uma forma racional e económica.

energia elétrica consumida pois os volumes elevados são menores, e na mudança dos grupos de bombagem por equipamentos mais eficientes energeticamente.

O recurso a variadores de frequência nos grupos eletrobomba também constitui uma alternativa viável pois, estes dispositivos permitem um ajuste mais adequado entre o caudal elevado e o consumo de água pela rede.

- Redução do custo pela alteração da política operacional:

Existem períodos tarifários em que o preço da energia elétrica por kWh é mais elevado, visto isto, pode-se obter uma maior economia restringindo o funcionamento dos grupos elevatórios a outros períodos ou, em caso de impossibilidade, fazê-los funcionar em intervalos de tempo que sejam estritamente necessários.

2.8 CICLO DE VIDA

2.8.1 Evolução Histórica

Em 1990, nos Estados Unidos da América (EUA), o termo Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, ou em inglês, "*Life Cycle Assessment*" – LCA, foi utilizado pela primeira vez, derivando de uma terminologia, usada em 1970 no mesmo país, relativa aos estudos do ciclo de vida ambiental, sendo ela "*Resource and Environmental Profile Analysis*" (REPA), (Hunt e Franklin, 1996) (Ferreira, 2004).

Os primeiros estudos que quantificavam as necessidades de recursos, as emissões e os resíduos resultantes da produção de várias embalagens de bebidas, foram elaborados pelo *Midwest Research Institute* para a Companhia Coca-Cola no ano de 1969. Como apresentava informações consideradas confidenciais, este estudo nunca foi publicado mas foi utilizado como um "input" nas decisões da Companhia sobre as embalagens a produzir. Um dos resultados deste estudo era a demonstração de que as garrafas de plástico não apresentavam mais desvantagens do ponto de vista ambiental que as garrafas de vidro (Ferreira, 2004). Em 1972, a *U.S. Environmental Protection Agency* encomendou um estudo sobre as embalagens de cerveja e sumos ao *Midwest Research Institute*, iniciando-se assim uma evolução no ACV (Guinée, 1995). O estudo encomendado pela *U.S. Environmental Protection Agency* tinha o propósito de analisar as implicações ambientais da substituição de latas e garrafas não reutilizáveis por embalagens de vidro reutilizáveis levando assim a uma envolvimento de muitas empresas fornecedoras e permitindo caracterizar mais de 40 materiais. A conclusão deste estudo demonstrou as vantagens ambientais de uma garrafa reciclável quando comparada com uma não reciclada (Hunt e Franklin, 1996) (Ferreira, 2004).

Neste mesmo ano, foi realizado também um estudo no setor da saúde que revelou a importância dos custos operacionais de um hospital que passado um determinado período de tempo, excedem os custos tidos inicialmente com o projeto e a construção do edifício, o que demonstra a relevância em ter em conta estes custos operacionais na análise preliminar da viabilidade do projeto. Nos EUA as exigências legais de eficiência energética foram sendo cada vez mais severas e impostas em vários estados que seguiram o método da Análise do Custo do Ciclo de Vida para impulsionar o Programa de Conservação Energética em vigor no ano de 1975 (Pereira, 2009).

Passado cinco anos, o *Federal Energy Management Program* (FEMP) criou um guia, intitulado *Life-Cycle Costing Manual*, com o objetivo de difundir e instigar a aplicação do estudo do Custo do Ciclo de Vida (CCV) aos projetos de conservação de energia nos edifícios federais. Em 1987 e em 1995, este guia foi revisto sendo que na última revisão foram promovidas bastantes alterações introduzindo um conjunto de inovações na Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) nos projetos de conservação de energia, água e dos edifícios. Foi ainda adicionada uma explicação faseada do processo de utilização do método ACCV tornando-o mais acessível e claro a um conjunto de pessoas com formação nas mais diversas áreas (arquitetos, engenheiros, analistas, gestores) (Pereira, 2009).

Após este início fulgurante, instalou-se um período de baixo interesse público no ACV mas, em 1990, deu-se um admirável crescimento das atividades ACV na Europa e nos EUA. Nestes dois países foram organizados e promovidos diversos *workshops* com o intuito de desenvolver metodologias e terminologias ACV (Ferreira, 2004).

Em 1992, no continente europeu, formou-se a Sociedade para a Promoção do Desenvolvimento de Ciclo de Vida (SPOLD) com o objetivo de coletar recursos de forma a incentivar o desenvolvimento da metodologia ACV como uma abordagem de gestão aceite auxiliando na tomada de decisão (Hindle e Oude, 1996) (Ferreira, 2004). No mesmo ano, a Organização Internacional para a Normalização (ISO) criou um comité técnico - TC207/SC 5 – para a normalização de várias abordagens de gestão ambiental existentes onde se incluía o ACV (Tibor e Feldman, 1996). Até ao momento diversas normas relacionadas com ACV foram publicadas:

- ISO 14040: 1997 Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework
- ISO 14041: 1998 Environmental management -- Life cycle assessment -- Goal and scope definition and inventory analysis
- ISO 14042: 2000 Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle impact assessment
- ISO 14043: 2000 Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle interpretation

- ISO/TR 14049: 2000 Environmental management -- Life cycle assessment -- Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis
- ISO/TS 14048: 2002 Environmental management -- Life cycle assessment -- Data documentation format
- ISO/TR 14047: 2003 Environmental management -- Life cycle impact assessment -- Examples of application of ISO 14042

Nos EUA, a metodologia ACV tem um importante impacto através do *U.S. Departement of Defense* uma vez que está, atualmente, aplicada a todos os novos sistemas de armamento sendo que as empresas responsáveis pelos projetos de defesa do espaço aéreo elaboram-nos segundo as conclusões pré-definidas do estudo do Custo do Ciclo de Vida denominando-se esta forma de trabalhar por *Design to Cost* (Pereira, 2009).

A escolha de um projeto ou produto em detrimento de outro, normalmente, o fator de decisão é o preço ignorando assim os custos posteriores relativos ao uso do próprio produto ou da exploração do projeto. No entanto, estes custos, muitas vezes ignorados, revelam ser muito importantes e deveriam fazer parte do processo de escolha. Com isto, surge o conceito CCV que se caracteriza na metodologia de cálculo da totalidade dos custos, como custos de projeto, aquisição, manutenção, renovação, energia, reciclagem, entre outros, referentes à fruição de um produto ou à exploração de um projeto, durante toda a sua vida. Esta definição encontra-se em consonância com o estabelecido na norma ISO 14040:2006.

O CCV trata-se de uma ferramenta de gestão útil quando o objetivo é minimizar o desperdício e maximizar a rentabilidade do objeto em questão, seja ele um equipamento, um edifício, ou outro tipo de objeto. A sua utilização é muito útil e justificada quando é necessário adquirir um bem que exija manutenções periódicas ou consumos energéticos elevados ao longo do seu período de aproveitação (Pereira, 2009).

A análise do ciclo de vida é muito útil devendo, portanto, ser utilizada sempre que se necessite mas deve-se ter em atenção que o seu uso representa por si só um custo logo, deve ser compensado com os benefícios que a entidade que o realiza irá ter. Este estudo do Custo do Ciclo de Vida compreende quatro fatores (Pereira, 2009):

- Energia – Custos energéticos que o objeto ou projeto vão ter durante o seu período de funcionamento;
- Vida Útil – A maior duração da vida útil do objeto ou projeto implica uma manutenção periódica, o que acarreta custos, tornando-se assim de grande relevância este fator;
- Eficiência – Fator que mostra a utilização ou gestão de forma eficiente não dando lugar a desperdícios;
- Investimento – A maior relevância da análise do uso do ciclo de vida acompanha o quanto maior é o investimento inicial no objeto ou projeto.

São exemplo da importância da análise destes quatro fatores os investimentos na construção de um edifício, na aquisição de um veículo de transporte, entre outros. Existe também casos onde os quatro fatores podem não ser utilizados e ser igualmente realizada uma análise do custo do ciclo de vida, como é o caso da análise do CCV de um lâmpada que apesar de ter um investimento inicial muito reduzido e seja um bem com uma duração curta, o estudo realizado do CCV pode revelar que o investimento deveria ser canalizado para uma lâmpada mais cara mas com uma maior eficiência energética. Para se avançar com um estudo do CCV deve-se seguir a regra da existência, ou não, de custos referentes à utilização do bem, quer sejam eles de manutenção, de consumo de energia, ou outros (Pereira, 2009).

2.8.2 Metodologia usada

A análise do CCV fundamenta-se em teorias económicas que consideram todos os custos, desde a elaboração do projeto, o planeamento, a aquisição, a construção, a operação, a manutenção, a reparação, a energia e os valores muito baixos que se verificam no fim de vida do bem. Como foi dito anteriormente, este estudo do CCV é fundamental em projetos que acarretam elevados custos de investimentos iniciais, de operação, de manutenção e de energia, tornando assim o processo de decisão mais focado em projetos com menores custos de ciclo de vida. É um facto que muitos projetos apresentam custos de investimento inicial muito elevados mas não deixa de ser também verdade que muitas das vezes os custos de operação, de manutenção, de consumo de água e energia ultrapassam esses custos iniciais. Para além destes, existem também custos relacionados com leis de proteção ambiental, como o uso sustentável de recursos naturais ou a poluição gerada pela exploração da infraestrutura que assumem uma fatia significativa na análise do CCV. Uma das fórmulas matemáticas que poderia resumir o CCV seria (P. Leite; Guerreiro, 2010):

$$CCV = C_{aq} + C_{in} + C_e + C_m + C_o$$

Nesta fórmula, as designações das várias parcelas nela presentes são:

- C_{aq} - Custos de aquisição (equipamentos mecânicos, tubagens, etc.)
- C_{in} - Custos de instalação e de comissionamento (incluindo a construção de instalações)
- C_e - Custos de energia (de acordo com a operação expectável do sistema)
- C_m - Custos de manutenção e de reparação (intervensões previsíveis)
- C_o - Outros custos (recursos humanos, ambientais, de remoção, etc.)

Uma outra funcionalidade da aplicação da análise do CCV é a fixação de prioridades na distribuição do financiamento quando se trata de projetos com elevados investimentos devendo-se contudo, estabelecer classificações para esses projetos através de medidas suplementares de desempenho económico como o cálculo dos rácios entre a Poupança e o Investimento ou das Taxas Internas de Rentabilidade, TIR (Pereira, 2009).

Em oposição à análise do CCV está o Método de Recuperação – Payback (PB) usado na análise económica. Este método permite aferir quanto tempo é necessário para que o investimento inicial seja recuperado, não sendo assim adequado para determinar o desempenho económico a longo prazo do projeto nem da sua rentabilidade. Este não tem em conta os custos nem os lucros obtidos depois de ultrapassado o ponto de reembolso nem distingue projetos com tempo de vida útil distintos. A aplicação do Método do Período de Recuperação Simples – Single Payback (SPB), vertente do PB, ignora o valor do dinheiro no tempo aquando a comparação dos fluxos de tesouraria futuros como o custo do investimento inicial. A análise do Custo do Ciclo de Vida é uma ferramenta útil que exige conhecimentos das áreas financeira e económica mas a sua não utilização na presença de um processo de decisão entre diversas alternativas poderá conduzir o decisor a uma má decisão com as devidas consequências futuras (Pereira, 2009).

2.8.3 Custos de Ciclo de Vida aplicados aos Sistemas de Abastecimento de Água

A gestão de qualquer atividade tem como finalidade a coordenação e a otimização dos recursos e procedimentos. No caso dos Sistemas de Abastecimento de Água, a publicação das **normas ISO 24500 (atividades relativas aos serviços de abastecimento público de água e de gestão de águas residuais)** providenciou às entidades gestoras recomendações sobre a sua atividade. Estas normas de serviço internacionais têm como finalidade (Guerreiro, 2010):

- Facilitar o diálogo entre a entidade gestora e as várias partes interessadas nos serviços (e.g., utilizadores, autoridades, operadores, organizações de consumidores, laboratórios);
- Promover um mútuo entendimento por todas as partes interessadas relativamente às funções e tarefas relacionadas com as organizações dos serviços;
- Fornecer, às partes interessadas relevantes, recomendações para a avaliação e a melhoria do serviço aos utilizadores, assim como para o aperfeiçoamento da gestão das organizações dos serviços da água, em coerência com os objetivos globais estabelecidos interna e externamente;
- Proporcionar métodos e ferramentas para definir objetivos e metas e avaliar a respetiva execução;
- Proporcionar metodologias de supervisão e de comparação de desempenho da qualidade de serviço entre operadores.

2.8.3.1 Norma ISO 24510

A **norma ISO 24510: 2007** traduz-se em “recomendações para a avaliação do desempenho e para a melhoria do serviço aos utilizadores” e é constituída por (Guerreiro, 2010):

- Terminologia a adotar;
- Descrição dos constituintes do serviço aos utilizadores;
- Objetivos primordiais do serviço, tendo em conta as necessidades e as expectativas dos utilizadores;
- Recomendações para a realização de um inventário das necessidades e das expectativas dos utilizadores;
- Critérios de avaliação do serviço aos utilizadores;
- Exemplos de indicadores de desempenho relacionados com os critérios de avaliação.

2.8.3.2 Norma ISO 24511 e ISO 24512

Estas normas **apresentam recomendações para a gestão de organizações e para a avaliação do desempenho do serviço e são relativas ao serviço de águas residuais, no caso da norma ISO 24511, e ao serviço de abastecimento público de água, no caso da norma ISO 24512.** A estruturação do conteúdo de cada uma é semelhante e contém, para cada tipo de serviço (Guerreiro, 2010):

- Terminologia a adotar;
- Descrição dos constituintes das infraestruturas;
- Objetivos primordiais da prestação do serviço;
- Descrição das parcelas de gestão do serviço;
- Recomendações para a gestão da organização do serviço;
- Recomendações para a realização de uma avaliação do serviço que deve ser feita segundo uma abordagem que defina os objetivos da avaliação, as partes interessadas as ferramentas de avaliação do serviço a adotar e os procedimentos e os critérios de avaliação a seguir, os recursos a utilizar e a forma de apresentação de resultados e recomendações;
- Exemplos de indicadores de desempenho relacionados com os critérios de avaliação;
- Sugestões de atividades a desenvolver.

No estudo desenvolvido, a norma ISO 24512 apresenta especial atenção visto que, o propósito da primeira parte deste trabalho, onde se avalia os constituintes da parcela da rede de abastecimento a analisar e o custo da energia elétrica despendida na elevação da água, convergem com a finalidade desta norma.

3

CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM PORTUGAL

3.1 A ÁGUAS DE PORTUGAL, S.A.

Em Portugal, tradicionalmente, a gestão dos Sistemas de Abastecimento de Água e dos Sistemas Águas Residuais era da responsabilidade municipal. Com a constituição da empresa Águas de Portugal, S.A. (AdP), fundada em 1993, o Estado Português assegurou aos municípios que assim o entenderam, a gestão dos Sistemas de Abastecimento de Água em “alta”. Nesta altura, vigorava a Lei nº 46/77 de 8 de Julho – lei de delimitação de sectores – que impedia a participação de empresas privadas em determinados sectores de atividade económica como o abastecimento de água e a drenagem de águas residuais. Com a publicação do Decreto-Lei nº 372/93 de 29 de Outubro que reformou a anterior legislação, possibilitou às empresas, em associação com entidades do sector público – desde que estas possuam, necessariamente, posição maioritária de capital na nova sociedade - desempenharem funções ativas no sector em regime de concessão outorgado pelo Estado. No mesmo ano, foi publicado um novo Decreto-Lei, nº 379/93 de 5 de Novembro, que estabeleceu um regulamento para a gestão e exploração dos sistemas multimunicipais e municipais de captação, tratamento e distribuição de água para consumo público; de recolha, tratamento e rejeição de efluentes e de recolha e tratamento de resíduos sólidos. Para além disso, o mesmo documento legal definiu claramente a classificação dos sistemas, Municipal ou Multimunicipal (Almeida, 2010; Águas do Porto S.A.):

- Sistemas Multimunicipais são sistemas “em alta”, “de importância estratégica, que abrangem a área de pelo menos dois municípios e exijam um investimento predominante do Estado”;
- Sistemas Municipais são “todos os restantes, independentemente de a sua gestão poder ser municipal ou intermunicipal”.

Com a reforma no setor da água alcançada no ano de 1995 e materializada com o Decreto-Lei nº 379/93 de 5 de Novembro, surgiram quatro sistemas multimunicipais de abastecimento de água: Águas do Douro e Paiva, Águas do Cávado, Águas do Barlavento e Águas do Sotavento. Assim, com todo o novo enquadramento legal foi estabelecido um contrato de

concessão, celebrado entre a Câmara Municipal e uma empresa privada, a 15 de Dezembro de 1994, para a gestão e exploração da captação, tratamento e distribuição de água no concelho de Mafra sendo este, o primeiro contrato assinado nestes termos em Portugal (Almeida, 2010).

3.2 PEAASAR I E PEAASAR II

Decorria o ano 2000 quando o Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território (MAOT) publicou o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais I (PEAASAR I), um documento que traçou e definiu as metas que o setor deveria alcançar durante o período compreendido entre 2000 e 2006, o mesmo período focalizado pelo III Quadro Comunitário de Apoio e pelo Plano de Desenvolvimento Regional (PDR). De entre as metas estabelecidas destacam-se (Almeida, 2010):

- cumprimento da legislação em vigor, tanto nacional como comunitária;
- alcance dos níveis de atendimento de serviço de 95% e 90% para, respetivamente, o abastecimento de água potável e a drenagem e tratamento de águas residuais.

Para alcançar estas metas foi definida uma estratégia que incentivasse as soluções integradas de carácter plurimunicipal que tivesse em atenção as especificidades das bacias hidrográficas respetivas e articulasse as diferentes fases do ciclo urbano da água isto é, o abastecimento de água e a drenagem de águas residuais, e que promovesse iniciativas de gestão do tipo empresarial, assegurando a sustentabilidade dos sistemas, não só pelo controlo e otimização dos investimentos realizados, mas também, da geração de receitas ajustadas à exploração e manutenção das infraestruturas. Assim, focando-se na resolução das dificuldades de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais na vertente "alta", foram criados, por Decreto-Lei, 15 novos sistemas multimunicipais constituídas maioritariamente por capitais públicos, onde a AdP se mostrava na posição de acionista maioritário (Almeida, 2010).

Apesar dos esforços desenvolvidos para uma melhoria na política do setor da água, foi necessário reformular a estratégia vigente, de modo que surgiu o PEAASAR II, aprovado pelo Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional a 28 de Dezembro de 2006 e publicado em Diário da República através do Despacho n.º 2339/2007 (2.ª Série), de 14 de Fevereiro, com um período alvo de 2007 a 2013. Este documento visa a articulação dos sistemas em alta e baixa e a melhoria e reabilitação das redes de drenagem. Os três principais objetivos estratégicos destacados neste documento são (Almeida, 2010; ERSAR, 2009):

- universalidade, continuidade e qualidade do serviço;
- sustentabilidade do sector;
- proteção dos valores de saúde pública e ambientais.

Após o período alvo referido, ambicionava-se que 95% da população portuguesa fosse servida por sistemas públicos de abastecimento de água e 90% por sistemas de recolha e tratamento de águas residuais, que a qualidade do serviço apresentasse níveis adequados evidenciados nos indicadores de qualidade de serviço estabelecidos pela entidade reguladora e que fossem deliberadas guias para a aplicação de tarifas aos consumidores finais que fossem evoluindo num intervalo aceitável e adequado com as capacidades económicas das populações (ERSAR, 2009).

3.3 PENZAAR 2020

Devido ao limite temporal do anterior Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR II), ao abrigo do Despacho n.º 9304/2013, de 2 de Julho, do Secretário de Estado do Ambiente, tornou-se necessário elaborar o plano PENSAAR 2020, de forma a expor a nova estratégia setorial para o período de 2014 a 2020. Com este intuito, Foi aprovado em Diário da República, através do Despacho n.º 4385/2015, de 30 de abril, o plano estratégico PENSAAR 2020 (Ambiente, et al., 2015).

Este novo Plano Estratégico para o setor de Abastecimento de Águas e Saneamento de Águas Residuais que visa para Portugal continental, baseia-se na análise elaborada da situação atual, após o Plano Estratégico anterior, e tem como base uma estratégia menos focalizada na construção de infraestruturas mas sim na gestão das existentes, no seu funcionamento e na prestação de serviços de maior qualidade de uma forma sustentável. Os objetivos estratégicos deste plano, definidos como “eixos”, e as “metas operacionais” para que estes possam ser cumpridos são os seguintes (Ambiente, et al., 2015):

Eixo 1 - Proteção do ambiente e melhoria da qualidade das massas de água

- Cumprimento do normativo;
- Redução da poluição urbana nas massas de água;
- Aumento da acessibilidade física ao serviço de Saneamento de Águas Residuais (SAR).

Eixo 2 - Melhoria da qualidade dos serviços prestados

- Melhoria da qualidade do serviço de abastecimento de água;
- Melhoria da qualidade do serviço de saneamento de águas residuais.

Eixo 3 - Otimização e gestão eficiente dos recursos

- Otimização da utilização da capacidade instalada e aumento da adesão ao serviço;
- Redução das perdas de água;
- Controlo de afluições indevidas;
- Gestão eficiente de ativos e aumento da sua reabilitação;
- Valorização de recursos e subprodutos;
- Alocação e uso eficiente dos recursos hídricos.

Eixo 4 - Sustentabilidade económico-financeira e social

- Recuperação sustentável dos gastos;
- Otimização e/ou redução dos gastos operacionais;
- Redução de água não faturada.

Eixo 5 - Condições básicas e de cobertura

- Aumento da disponibilidade de informação;
- Inovação;
- Melhoria do quadro operacional; de gestão e de prestação de serviços;
- Alterações climáticas, desastres naturais, riscos - mitigação e adaptação;
- Externalidades, emprego, competitividade, internacionalização.

Esta estratégia teve em atenção o quadro legal comunitário e nacional em vigor e propõe modificações que evitem complicações legais à sua implementação. As intenções da comissão europeia relativas ao apoio comunitário, expressas no documento *Position of the Commission Services on the development of the partnership agreement and programmes in Portugal for the period 2014-20*, e a política europeia para este setor, que se encontra em desenvolvimento, foram um fator importante na definição desta estratégia. Foram tidos em linha de conta os problemas, resultados e propostas elaboradas noutros planos nacionais de

importância para o setor como o programa nacional para o uso eficiente da água (PNUEA) e a Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais (ENEAPAI) embora sem uma coordenação e abordagens comuns devido aos atrasos nestes planos. Assim, incluiu-se na análise e definição da estratégia a informação recolhida do estado atual na determinação de objetivos relacionados com o uso eficiente da água para consumo doméstico e com a gestão de efluentes não-domésticos, designadamente agro-pecuários e agro-industriais. Foi também definido que o tema das lamas, apesar de ser um resíduo, seria tratado no PENSAAR 2020, em articulação com o PERSU 2020, e a articulação com o Programa Nacional de Política de Ordenamento do Território (PNPOT) e restantes Instrumentos de Gestão Territorial foi pensada e materializada (Ambiente, et al., 2015).

O objetivo do trabalho desenvolvido constitui um mecanismo de redução dos custos inerentes ao gasto de energia elétrica com a elevação da água, permitindo uma diminuição dos gastos operacionais de uma empresa de abastecimento de água, o que se enquadra nos objetivos estratégicos do PENSAAR 2020, nomeadamente nos eixos 3 e 4.

4 SOFTWARE UTILIZADO PARA MODELAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

Para modelar e posterior otimização da rede de abastecimento em estudo recorreu-se ao “software” existente e de utilização livre: o EPANET 2.0. O presente capítulo pretende descrever as principais características deste programa computacional. Foi ainda utilizado um algoritmo de otimização implementado numa folha de cálculo EXCEL que serviu como linha orientadora na definição da estratégia de otimização, designadamente, na definição do nível de arranque e paragem das bombas.

4.1 EPANET 2.0

De forma a traduzir e a tornar viável o algoritmo utilizado neste estudo, é essencial a utilização de uma ferramenta que modele o comportamento das redes hidráulicas em regime de escoamento permanente e que simule o resultado obtido através da otimização. O simulador hidráulico mais frequentemente utilizado em todo o mundo é o EPANET, criado por Rossman (2000). Este programa é disponibilizado ao público (*freeware*) podendo o seu utilizador adaptá-lo a aplicações específicas (Costa, 2009; LNEC, 2002).

Para uma pesquisa mais aprofundada do programa e consolidação de conhecimentos a consulta do “MANUAL DO UTILIZADOR EPANET 2.0”, da autoria de Lewis A. Rossman da *United States Environmental Protection Agency*, com tradução para português pelo Núcleo de Engenharia Sanitária do Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), é recomendada (Costa, 2009).

Desenvolvido pela *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA), o EPANET 2.0 permite estudar o comportamento hidráulico e a qualidade da água em redes de distribuição em regime permanente. A sua característica versatilidade, torna este programa um ferramenta importante no auxílio na simulação e estabelecimento de cenários de projeto, na calibração e melhoria de modelos hidráulicos, na análise do decaimento de compostos químicos, nomeadamente do cloro, e na apreciação de consumos. Algumas vantagens da sua utilização são (Costa, 2009; LNEC, 2002):

- Apresenta uma distribuição gratuita com traduções para a língua inglesa, espanhola e portuguesa;
- Permite a adição e o acesso a uma *Toolbox* composta por diversas funções de programação para desenvolvimento de interfaces computacionais onde o EPANET 2.0 é incorporado noutros modelos;
- A comunidade científica reconhece a sua valia;
- Facilidade na introdução de dados, manipulação da modelação e qualidade dos resultados.

Como foi dito anteriormente, esta ferramenta permite simular o comportamento hidráulico e a qualidade da água em sistemas de distribuição de água. As redes de distribuição são constituídas por tubagens, bombas, válvulas, reservatórios de nível fixo e/ou reservatórios de nível variável, equipamentos que são modelados e analisados por este *software*. Recorrendo a este programa o utilizador pode examinar e obter os valores do caudal em cada tubagem, as pressões sentidas em cada nó, as alturas de água dos reservatórios e a concentração de espécies químicas, isto tudo, num determinado intervalo de tempo definido e em cada instante desse período (Costa, 2009; LNEC, 2002).

Para a obtenção de resultados consistentes é necessário uma caracterização e modelação hidráulica fiável. Assim, o EPANET apresenta alguns parâmetros e características funcionam como apoio nos projetos a executar, tais como (Costa, 2009; LNEC, 2002):

- Podem ser adicionados, de uma forma ilimitada, componentes à rede em estudo;
- O utilizador define a fórmula de cálculo da perda de carga podendo assim recorrer às fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Perdas de carga localizadas (curvas, válvulas, estreitamentos, etc) são tidas em conta;
- Possibilidade de modelação de bombas de velocidade constante ou variável, às quais são adicionadas Curvas Características e Curvas de Rendimento;
- Análise da energia de bombeamento e do seu custo;
- Modelação de válvulas;
- Modelação de consumos podendo ser definidos vários padrões com variações temporais próprias;
- Permite que as condições de operação sejam controladas por controlos simples, onde uma só condição é imposta, ou por controlos múltiplos.

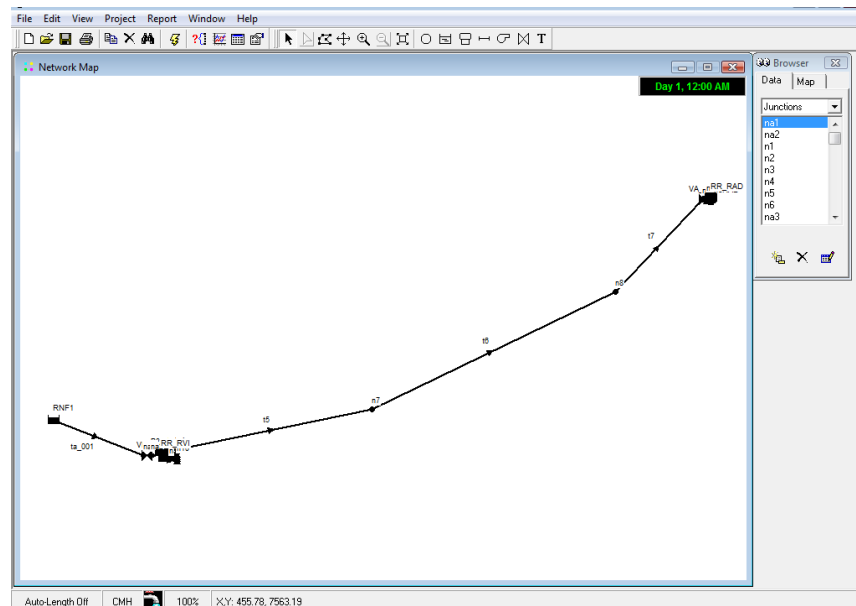


Figura 5 – Exemplo de uma rede de abastecimento modelada no EPANET 2.0.

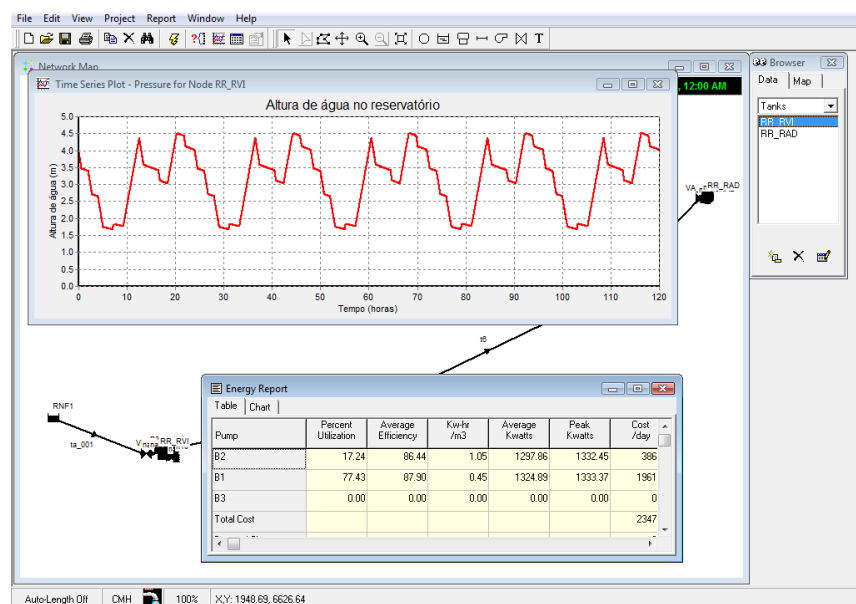


Figura 6 - Exemplo de resultados obtidos do EPANET 2.0.

5

ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO

5.1 DETERMINAÇÃO DAS QUESTÕES-ALVO

Com o fornecimento de água assegurado a praticamente quase todo o País, cerca de 94%, segundo PENSAAR 2020, as empresas de abastecimento de água tentam agora encontrar a melhor política operacional que permita reduzir os seus custos sem comprometer o que oferecem.

Como é característico de todos os processos de decisão operacional, estes envolvem um elevado número de parâmetros fazendo com que a sua análise tenha um elevado nível de complexidade. Assim, torna-se inviável a pesquisa diária de regras que possibilitem um *upgrade* do ponto de vista económico do sistema, pelo que, recorre-se a modelos computacionais, primordialmente que apresentem fácil aplicação, elaborados sobre a base de algoritmos matemáticos que possam transmitir essa solução de menor custo tão ambicionada. Devido à impossibilidade de sempre que é encontrada uma solução poder-se proceder à sua verificação no sistema de abastecimento de água, a simulação hidráulica assume um papel preponderante no diagnóstico das ações a tomar para que essas mesmas ações possam ser mais precisas e eficazes (Costa, 2009).

A minimização dos custos de operação, como os custos ligados ao consumo da energia elétrica, tendo em conta a variação da tarifa elétrica e do consumo de água ao longo do dia bem como a capacidade de regularização dos reservatórios, deve ser a meta a alcançar. A obtenção de uma solução ótima deverá estar sempre em concordância com as restrições impostas tanto operacionais do sistema como hidráulicas e físicas. Visto isto, questões como, qual a combinação ideal do funcionamento do número de bombas nos diversos períodos, quais os níveis de arranque e paragem dos grupos elevatórios, quais os níveis de altura de água ideais nos reservatórios que suplantem as necessidades do consumo, estarão permanentemente relacionadas com essa solução e carecem de uma importância acrescida (Costa, 2009; Almeida, 2010; Figueiredo, et al., 2007).

5.2 MODELO DE CONTROLO

O modelo de controlo preconizado tem como referência o modelo proposto por (Figueiredo, et al., 2007), onde a função que se pretende otimizar cumpre o objetivo de minimizar o custo da energia elétrica consumida pelos grupos elevatórios preservando o volume de água elevado em cada hora o mais regular possível. Para que esta otimização seja conseguida, algumas restrições devem ser satisfeitas sendo elas, as características da instalação elevatória, as leis da física pelas quais o funcionamento da instalação elevatória se rege, o consumo de água que é necessário satisfazer, o custo unitário da energia elétrica, que varia ao longo do dia e conforme o dia da semana e o período referente, os limites, tanto superior como inferior, do volume de água no reservatório servido pelas bombagens, as condições iniciais e finais da problema em questão e os volumes de água armazenados quando a tarifa da energia e consequente custo é mais elevados (Costa, 2009).

Neste estudo o dia foi dividido em períodos concordantes com a tarifa de energia (Capítulo 2.6) medida implementada visto que estes períodos são considerados para definir a política operativa das bombas, na operacionalidade de um sistema de abastecimento de água.

5.3 VARIÁVEL DE CONTROLO

Neste caso, optou-se pela via da formulação indireta onde a variável de controlo é definida pelo volume a elevar em cada hora, visto que, na direta existem dificuldades na implementação devido ao facto de a variável de controlo (ou variáveis, dependendo do número de grupos elevatórios) quantifica a fração do incremento temporal durante a qual um grupo elevatório está a funcionar (Costa, 2009; Figueiredo, et al., 2007).

A equação de balanço imposta ao reservatório de jusante determina que, para um dado intervalo de tempo, o volume de água restante no reservatório é igual ao inicial adicionado da diferença entre o volume de água elevado pela conduta e o volume entregue pelo reservatório ao consumo (Costa, 2009; Figueiredo, et al., 2007):

$$V_{R,final} = V_{R,inicial} + V_{elev} - V_{cons} \quad (1)$$

Tendo em consideração um período de análise de 24 horas e sendo $V_{R,0}$, o volume de água no reservatório no instante inicial (00:00 horas), o volume de água restante no reservatório no final do incremento temporal de ordem i , $V_{R,i}$, é determinado pela seguinte expressão (Costa, 2009; Figueiredo, et al., 2007):

$$V_{R,i} = V_{R,0} + V_{elev,i} - V_{cons,i} \quad (2)$$

O volume acumulado elevado, entre o instante inicial e o instante final do incremento temporal de ordem i , tem correspondência com a integração em ordem ao tempo do caudal elevado entre esses instantes

$$V_{elev,i} = \int_0^{t_i} Q_{elev}(t) dt = \int_0^{t_1} Q_{elev}(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} Q_{elev}(t) dt + \dots + \int_{t_{i-1}}^{t_i} Q_{elev}(t) dt \quad (3)$$

ou com o somatório dos volumes $\Delta V_{elev,j}$ elevados durante os incrementos temporais estabelecidos entre o instante inicial e o instante final do incremento temporal de ordem i

$$V_{elev,i} = \Delta V_{elev,1} + \Delta V_{elev,2} + \dots + \Delta V_{elev,i} = \sum_{j=1}^i \Delta V_{elev,j} \quad (4)$$

A ordenada, referente ao instante i , instante final do incremento de ordem i , de uma função que representa o volume total elevado desde o instante inicial do período de análise, é definida pela expressão matemática (4) (Costa, 2009; Figueiredo, et al., 2007).

Esta função, por vezes denominada de "caudais integrais" ou "volumes acumulados", sendo contínua, é composta por sucessivos segmentos de reta cujos declives correspondem aos caudais médios em cada incremento temporal, devido ao modo como é definida (Costa, 2009; Figueiredo, et al., 2007).

Voltando à expressão (4), referente à água entregue pela conduta elevatória ao reservatório de jusante, o volume de água elevado em cada incremento temporal (a hora), $\Delta V_{elev,j}$, constitui a variável de controlo do problema em questão. Apesar de tudo, em prol do desempenho do algoritmo de otimização, decidiu-se por tomar como variável do problema de otimização o volume acumulado no final de cada incremento temporal, $V_{elev,i}$, definido pela expressão (4). Porém, esta alteração na formulação inicialmente apresentada para a variável de controlo é mais aparente que real; de facto, para cada incremento temporal (a hora), a diferença entre os volumes acumulados final e inicial corresponde ao volume elevado durante esse incremento (Costa, 2009; Figueiredo, et al., 2007):

$$V_{elev,j} - V_{elev,j-1} = \Delta V_{elev,j} \quad (5)$$

Com o resultado otimizado da variável de controlo, procede-se ao cálculo do volume de água necessário a elevar para cada período de tarifário de energia:

$$V_{elev,p} = \sum_{i=1}^{\text{horas período}} \Delta V_{elev,i}, \quad p = 1, \dots, \text{número de períodos} \quad (6)$$

5.4 FUNÇÃO OBJETIVO

A função objetivo visada é constituída pela soma de duas parcelas: uma que traduz uma operação da estação elevatória tão regular quanto possível (para as 24 horas do dia), e outra relativa ao custo da energia elétrica (calculada para os N períodos correspondentes ao tarifário escolhido). A equação (7) mostra então a função a otimizar (Costa, 2009; Figueiredo, et al., 2007):

$$F_{Obj} = W_L \sum_{i=1}^{24} L_i + W_E \sum_{i=1}^{N^o \text{ períodos}} E_i p_{E,i} \quad (7)$$

L_i – comprimento do segmento de reta que representa o traçado da função de controlo no incremento temporal de ordem i ;

E_i – energia consumida no incremento temporal i ;

$p_{E,i}$ – preço unitário da energia nesse incremento i ;

W_L , W_E – fatores de peso atribuídos a cada parcela da função objetivo (exemplo: aumentar a constante W_L , enquanto W_E se mantém constante traduz-se em aumentar a importância da regularidade da operação da estação elevatória. Anular uma das constantes representa ignorar o seu significado na função objetivo)

A introdução da parcela relativa à regularidade operacional tem como finalidade (Costa, 2009; Figueiredo, et al., 2007):

- Garantir alguma regularidade na operação dos grupos de bombagem (é da competência do operador da instalação elevatória o ajuste dos fatores W_L e W_E);
- Apoiar a pesquisa do algoritmo do mínimo global da função objetivo, fazendo com que não convirja para mínimos locais.

5.5 RESTRIÇÕES DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO

Existem diversas restrições que devem ser tidas em conta na elaboração de um modelo de otimização, algumas dessas dizem respeito ao volume de água nos reservatórios. Estes volumes de água, no final do incremento temporal de ordem i , $V_{R,i}$, não podem exceder a capacidade máxima dos reservatórios nem devem ser inferiores à capacidade mínima fixada por razões de segurança (p. e. reserva de avarias). Assim, a equação (2) é afetada pelas seguintes restrições de desigualdade (Costa, 2009; Figueiredo, et al., 2007):

$$V_{R,i} = V_{R,0} + V_{elev,i} - V_{cons,i} \leq Cap_{máxima}, \forall i = 1, 2, \dots, 24 \quad (8)$$

$$V_{R,i} = V_{R,0} + V_{elev,i} - V_{cons,i} \geq Cap_{mínima}, \forall i = 1, 2, \dots, 24 \quad (9)$$

Estas equações convertem-se, assim, nas seguintes inequações:

$$V_{R,0} + V_{elev,i} \leq Cap_{máxima} + V_{cons,i}, \forall i = 1, 2, \dots, 24 \quad (10)$$

$$V_{R,0} + V_{elev,i} \geq Cap_{mínima} + V_{cons,i}, \forall i = 1, 2, \dots, 24 \quad (11)$$

Analisando estas expressões chegamos à conclusão que a função de controlo, isto é, a função que representa o volume acumulado de água elevada adicionada ao volume inicial de água existente no reservatório, tem de estar balizada inferiormente pelo volume de água consumida, adicionado da capacidade mínima fixada para o reservatório, e superiormente pelo volume acumulado de água consumida, adicionado da capacidade máxima de armazenamento do reservatório (Costa, 2009; Figueiredo, et al., 2007).

Para além destas restrições a que a função de controlo está sujeita, o caudal bombado não deve, ser negativo ou ser superior ao máximo que os grupos elevatórios possam fornecer em funcionamento simultâneo. Assim, o declive da função de controlo não pode ser negativo nem ultrapassar o valor correspondente ao valor máximo que a instalação pode elevar. Por razões de mera simplicidade de programação, a formulação destas restrições foi elaborada como se de uma igualdade se tratasse recorrendo a duas funções de penalidade obrigatoriamente nulas. Caso estas funções de penalidade apresentem valor diferente do nulo, significa que um destes limites foi excedido (Figueiredo, et al., 2007).

Quanto a restrições relativas à bombagem vs tarifa de energia, estas podem ser expressas por:

$$V_{R,0} + V_{elev,i} = Cap_{máxima} + V_{cons,i} \quad (12)$$

$$V_{R,0} + V_{elev,i} = Cap_{mínima} + V_{cons,i} \quad (13)$$

Onde i , na equação (12) representa a hora anterior ao início do período onde a tarifa de energia é mais cara e, na equação (13) corresponde à hora final do período onde a tarifa de energia é mais cara (Costa, 2009).

Algumas considerações também foram tomadas em linha de conta, tais como (Costa, 2009):

- No instante imediatamente anterior ao início do período onde a tarifa de energia é mais cara (hora de ponta), o reservatório deve apresentar um volume de água correspondente à sua capacidade máxima;
- No instante final do período onde a tarifa de energia é mais cara, o volume de água no reservatório deve ser o correspondente à capacidade mínima.

Admitindo que o modelo de controlo tem como objetivo a busca da melhor política operacional para um dia esperado (médio), é admissível presumir que o seguinte dia apresentará características idênticas. Em termos práticos, esta hipótese traduz-se na necessidade de o volume de água existente no reservatório nos instantes inicial e final do período de 24 horas considerado seja o mesmo (Costa, 2009; Figueiredo, et al., 2007).

De notar que este modelo de otimização apresenta algumas semelhanças com o Método de Conti ou Método do Fio Tenso. Este método é usado recorrentemente em Hidrologia quando se pretende encontrar a curva de máxima regularização possível do caudal turbinado para a capacidade de reserva de uma dada albufeira. Nesses problemas, procura-se que a albufeira apresente uma regularização estável para que os caudais turbinados apresentem o menor número de variações possíveis – fazendo então sentido o termo “máxima regularização” (Almeida, 2010).

Adaptando este método aos sistemas de abastecimento de água constata-se que um reservatório é análogo a uma albufeira, embora que a variável independente, em Hidrologia, seja o caudal afluente a uma determinada secção do rio, em Hidráulica Urbana essa variável é o consumo da rede a jusante do reservatório (Almeida, 2010).

Com o auxílio da Figura 7, que representa duas curvas essenciais para aplicação do método do fio tenso e com os seus significados adaptados ao problema em estudo, percebe-se que para uma qualquer abcissa se proceder ao cálculo da diferença entre a ordenada na curva A e a ordenada na curva B obtém-se a capacidade de reserva do reservatório (Almeida, 2010).

- **Curva A** – Curva de volumes consumidos acumulados de água adicionada da capacidade máxima do reservatório;
- **Curva B** – Curva de volumes consumidos acumulados de água adicionada da capacidade mínima do reservatório

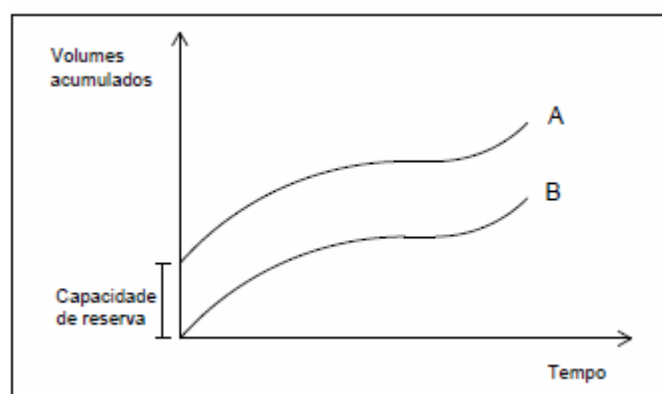


Figura 7 - Curvas fundamentais na aplicação do método de Conti (Almeida, 2010).

Ao se traçar uma reta tangente num ponto aleatório da uma das curvas, por se tratar de um referencial constituído por volumes relativos ao tempo, o declive dessa tangente será o caudal instantâneo consumido (Almeida, 2010).

5.6 FUNCIONAMENTO DO ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO

Para o instante inicial do espaço temporal em estudo e para os instantes finais de cada um dos incrementos temporais, o algoritmo calcula diversas variáveis como (Figueiredo, et al., 2007):

- Volumes de água no reservatório;
- Volumes consumidos e elevados;
- Volumes acumulados de água consumida e elevada;
- Energia consumida por cada uma das bombas;
- Custo da energia

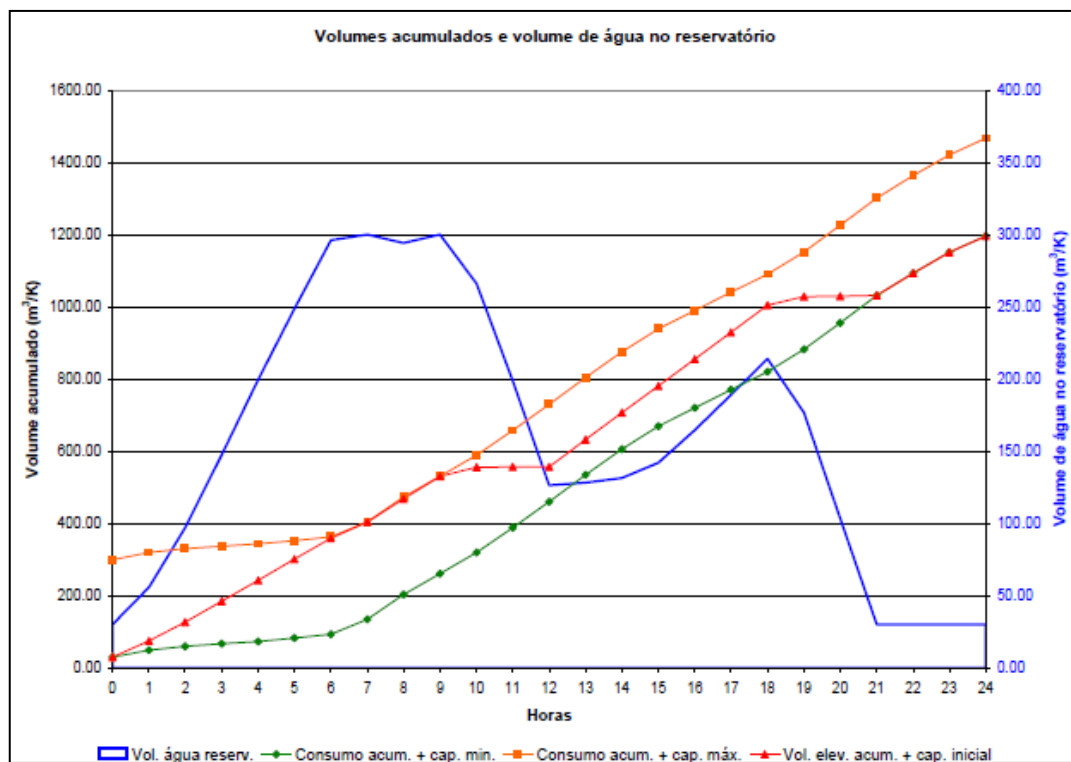


Figura 8 - Volumes de água acumulados elevados e consumidos. Volumes de água no reservatório (Figueiredo, et al., 2007).

O conjunto das células que contém os valores da função de controlo em cada um dos 1+24 instantes que se procede ao cálculo designa o vetor das variáveis de controlo que o

algoritmo ajusta, através do SOLVER, de maneira a que a o valor da célula que apresenta o valor da função de controlo seja minimizado (Figueiredo, et al., 2007).

Para além de calcular volumes de água no reservatório, Figura 8, o algoritmo também fornece os tempos de funcionamento das bombas, em percentagem da duração de cada incremento temporal. Os resultados obtidos podem ser visualizados num gráfico, como mostra a Figura 9, que ao ser analisado mostra a menor ou maior regularidade na operação dos grupos elevatórios. (Figueiredo, et al., 2007).

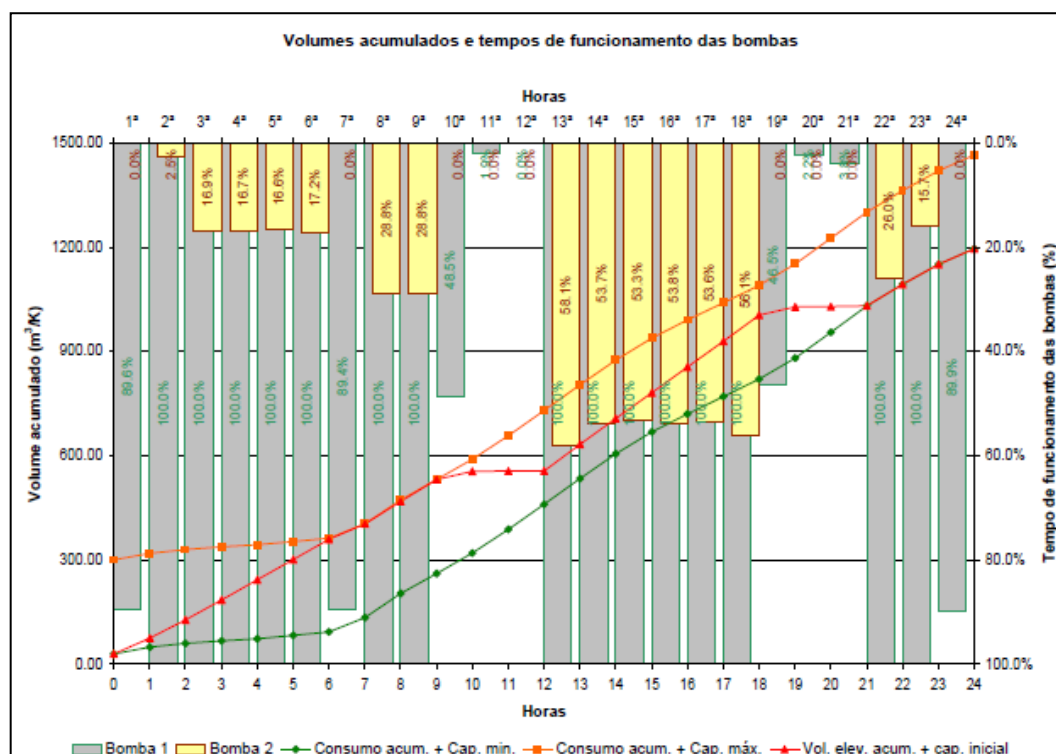


Figura 9 - Volumes de água acumulados elevados e consumidos. Tempo de funcionamento das bombas (Figueiredo, et al., 2007).

Tendo em consideração a variação da tarifa de energia para o período em questão, a variação do volume de água no reservatório e os tempos de funcionamento dos grupos elevatórios, o modelo de otimização procura que a elevação máxima (permitida pela capacidade do reservatório) seja efetuada durante a noite e a indispensável durante o dia evitando assim, a operação de bombagem nos períodos de tarifa elétrica mais elevada e evidenciando a **política operacional “ótima”** (Figueiredo, et al., 2007).

5.7 A SIMULAÇÃO HIDRÁULICA USANDO O ALGORITMO

Este modelo do controlo não identifica a operação dos grupos elevatórios, apenas determina qual o volume de água a elevar, em cada hora. Para alcançar uma **política operacional “ótima”**, é necessário definir quais os níveis de altura de água no reservatório

que acionam ou interrompem o funcionamento das bombas hidráulicas dependendo também do período do dia em questão. Esta definição do início e paragem dos grupos elevatórios deverá:

- Tornar os volumes verdadeiramente elevados similares com os volumes estabelecidos no modelo de controlo;
- Minimizar o número de arranques e paragens de forma a cumprir com o ponto anterior;
- Adaptar-se aos consumos horários/diários diferentes dos considerados no modelo de controlo.

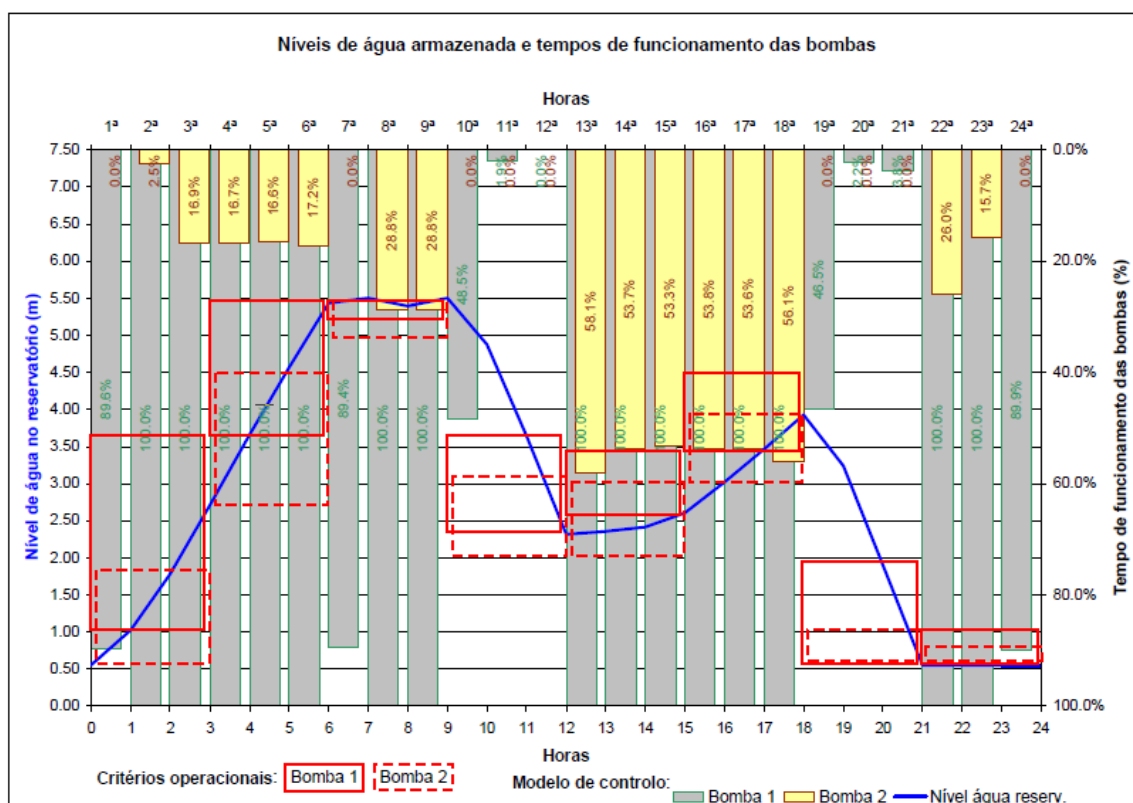


Figura 10 - Variação dos níveis de água e tempos de funcionamento das bombas. Critérios operacionais. (Figueiredo, et al., 2007).

A Figura 10, retirada do artigo *Minimização do Custo da Energia em Estações Elevatórias de Abastecimento de Água*, evidencia os níveis de arranque e paragem para cada bomba hidráulica, que constituem os critérios operacionais. Juntamente com a variação “ótima” do nível de água no reservatório e com os tempos de operação das bombas em cada hora, a figura mostra também retângulos caracterizadores dos critérios operacionais de cada uma das bombas, que são resultado da sua definição, no EPANET 2.0, sob a forma de critérios múltiplos, para que as alturas de água no reservatório se aproximem das obtidas no algoritmo otimizador. Os limites de cada um desses retângulos representam os limites para os quais o estado da bomba é definido: acima do limite superior, a bomba é desligada e abaixo do patamar inferior, a bomba é acionada. Caso o nível de água se situe entre os patamares

superior e inferior, o estado da bomba permanece inalterado (ligada ou desligada), dependendo da opção operacional anterior (Figueiredo, et al., 2007).

A tarefa de escolher quais os critérios operacionais mais ajustados tendo em conta, a economia conseguida rivalizada com a regularidade operacional e a versatilidade para adaptação a diferentes padrões de consumo, é da competência e decisão do gestor/operador da estação elevatória (Figueiredo, et al., 2007).

Como foi dito anteriormente, este algoritmo de otimização foi desenvolvido em folha de cálculo Excel. Importa salientar que este algoritmo é meramente indicativo e serve de auxílio à programação dos níveis de paragem e arranque dos grupos de bombagem visto que, algumas das variáveis apresentam caracterizações diferentes das utilizadas no EPANET, como o caso dos fatores horários de consumo e das tarifas de energia, parâmetros que estão definidos para intervalos horários contrariamente aos usados no EPANET que se apresentam para cada 15 minutos, e o facto de o algoritmo não contemplar variações na altura do reservatório de nível fixo, o que alteraria o ponto de funcionamento das bombas hidráulicas. Estas diferenças podem traduzir-se em resultados com algumas distorções dos obtidos na simulação hidráulica.

A figura seguinte mostra o resultado de uma das utilizações do algoritmo otimizador, neste estudo, para posterior definição dos critérios operacionais das bombas hidráulicas no EPANET.

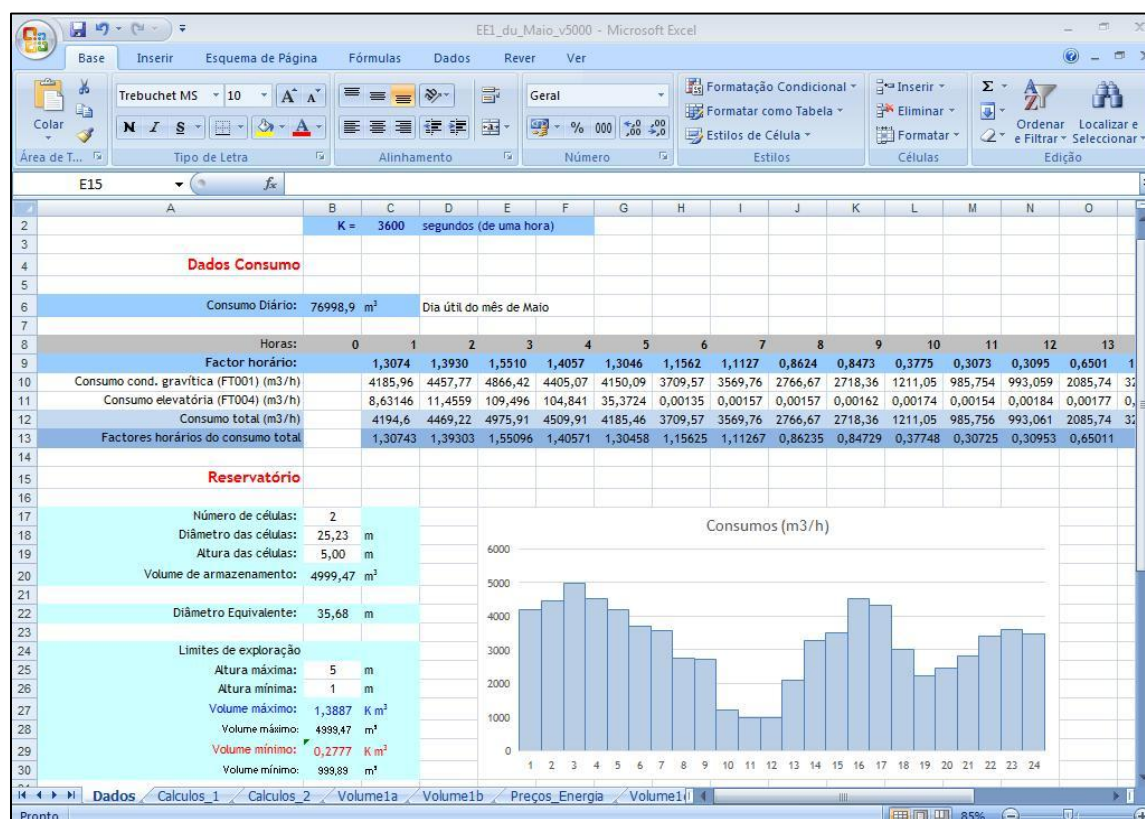


Figura 11 – Exemplo da introdução de dados no algoritmo otimizador.

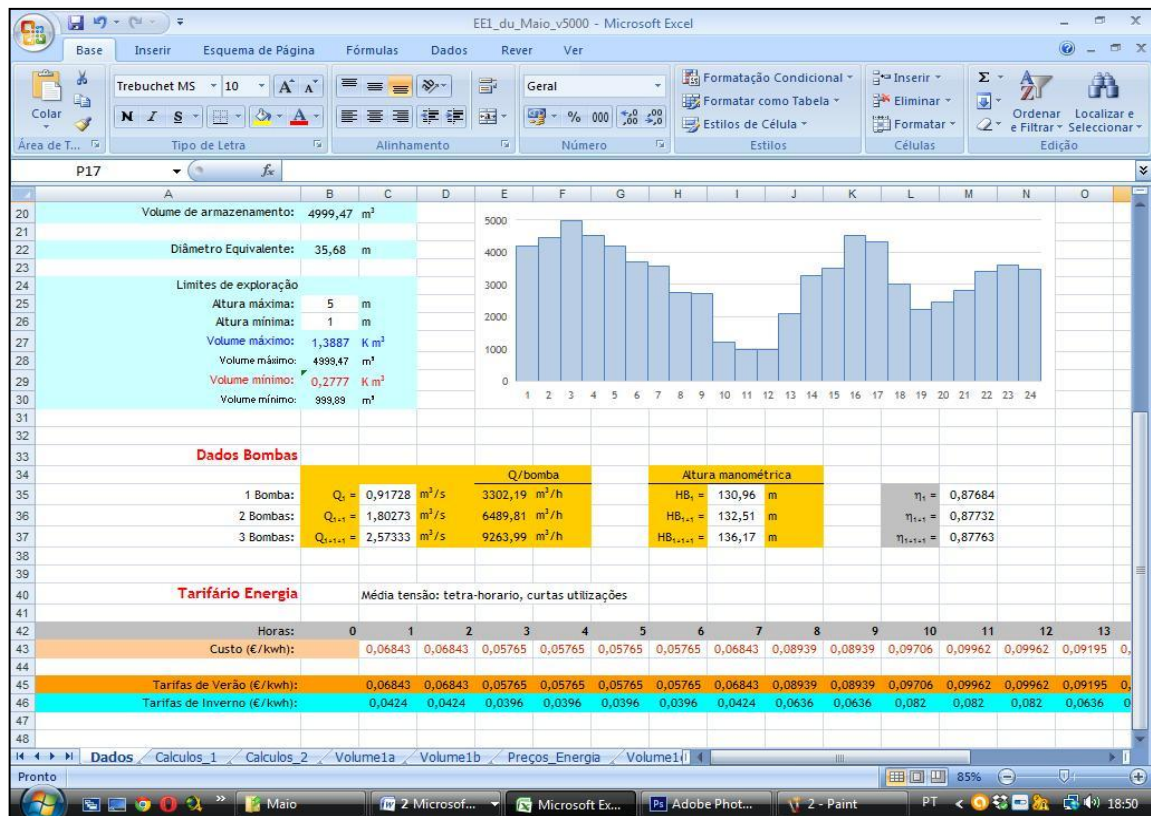


Figura 12 - Exemplo 2 da introdução de dados no algoritmo otimizador.

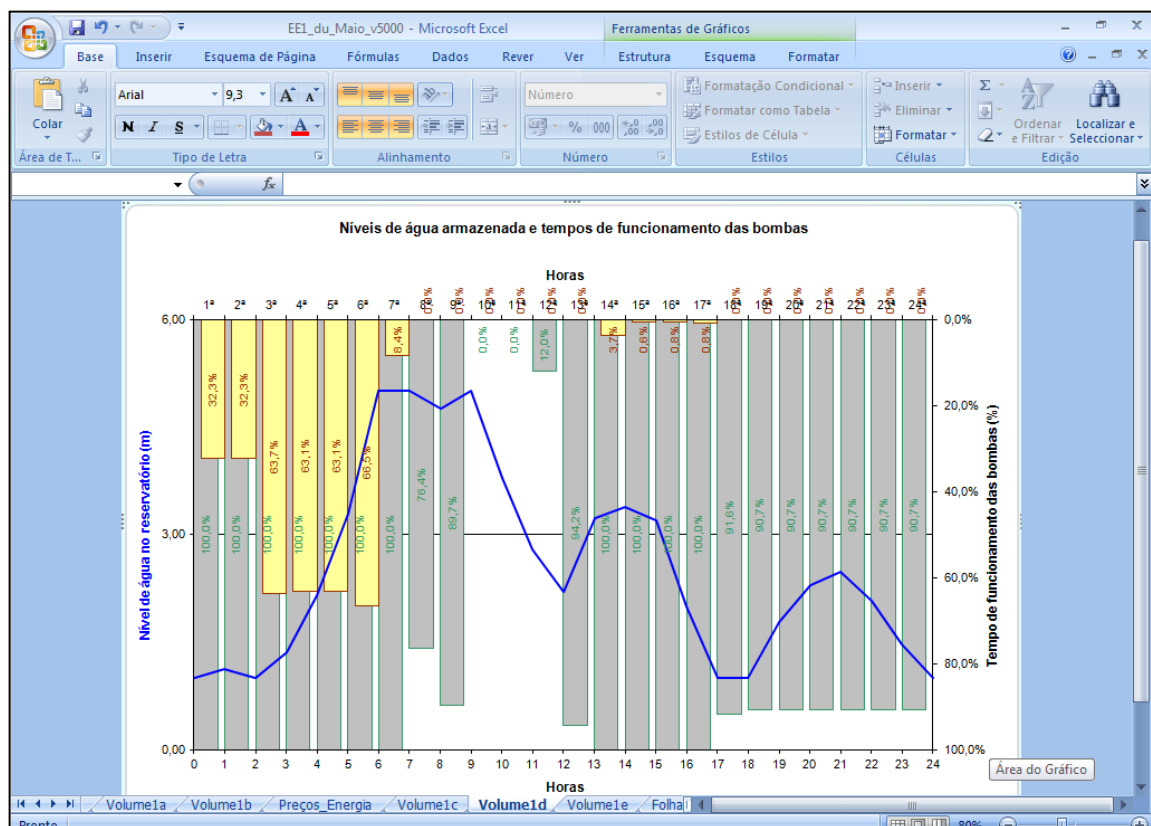


Figura 13 - Exemplo do resultado do algoritmo otimizador para um caso analisado no estudo desenvolvido.

6

CASO DE ESTUDO – ÁGUAS DO NOROESTE S.A

6.1 A EMPRESA

O estudo realizado foi feito em parceria com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a empresa Águas do Noroeste, S.A. (AdNw).



Figura 14- Logotipo da empresa.

A empresa em questão foi estabelecida pelo Decreto-Lei nº 41/2010 de 29 de Abril, devido à fusão de outras empresas existentes sendo elas Águas do Cávado, S.A., Águas do Minho e Lima, S.A. e Águas do Ave, S.A.. A empresa passou assim a ter como objetivo, em regime exclusivo, condição dada pelo Estado Português, a concessão da exploração e gestão do sistema multimunicipal de abastecimento de água e de saneamento do Noroeste, pelo período balizado de cinquenta anos. O sistema que é concessionado pela AdNw abrange os municípios de Amarante, Amares, Arcos de Valdevez, Barcelos, Cabeceiras de Basto, Caminha, Celorico de Basto, Esposende, Fafe, Felgueiras, Guimarães, Lousada, Maia, Melgaço, Monção, Mondim de Basto, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Póvoa de Lanhoso, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Terras do Bouro, Trofa, Valença, Viana do Castelo, Vieira do Minho, Vila do Conde, Vila Nova de Cerveira, Vila Nova de Famalicão, Vila Verde e Vizela.

Em julho de 2013, o Governo, a empresa e os municípios de Amarante, Arouca, Baião, Celorico de Basto, Cinfães, Fafe, Santo Tirso e Trofa e o Estado Português, rubricaram um contrato de parceria pública com o intuito da AdNw ser responsável pela exploração e gestão dos sistemas “em baixa”, assegurando assim o abastecimento de água e o saneamento de águas residuais de uma forma regular e eficiente (Águas do Noroeste S.A.).

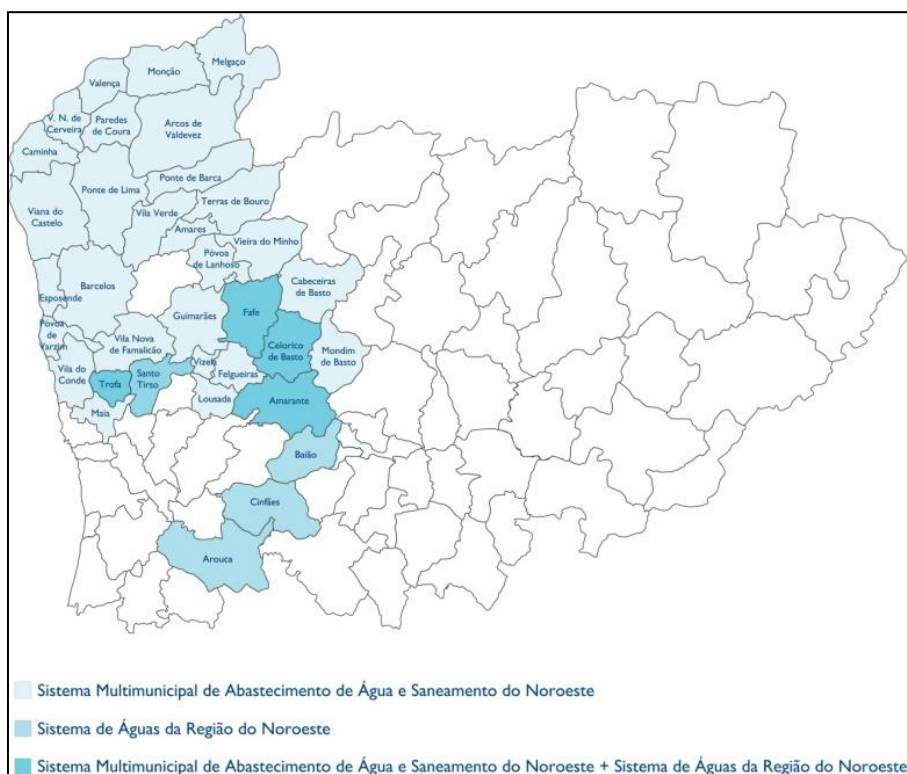


Figura 15 - Mapa dos municípios abrangidos pela empresa.

O sistema, no que diz respeito ao serviço em “alta”, está dimensionado para fornecer 54,3 milhões de m³ de água potável por ano a uma população efetiva e residente de cerca de 1 milhão de habitantes. O investimento total previsto para conseguir alcançar os objetivos a que se propõe a empresa, na matéria de abastecimento de água, é de cerca de 416,1 milhões de euros onde se prevê a anexação/construção de 10 captações, 10 estações de tratamento de água, perto de 1.325 km de condutas adutoras, 112 estações elevatórias e 300 reservatórios de entrega, atingindo assim uma taxa de atendimento a rondar os 97% da população total do Noroeste de Portugal.

Quanto ao serviço em “baixa”, resultante do contrato de Parceria celebrado em 2013, o sistema está elaborado para proporcionar 4,5 milhões de m³ de água potável por ano a uma população de 112 mil habitantes e para recolher/tratar 17 milhões de m³ de água residual por ano a uma população de 194 mil habitantes. O investimento total que está previsto efetuar para a parte de abastecimento de água, é perto de 9 milhões de euros integrando/construindo 35 captações, cerca de 1.708 km de condutas adutoras, 41 estações elevatórias e 89 reservatórios de entrega. Para a componente de saneamento de águas residuais, o investimento previsto é de 25 milhões de euros com a anexação/ construção de 10 estações de tratamento de águas residuais (ETAR), cerca de 1.403 km de interceptores e 95 estações elevatórias. Todo este sistema, referente ao serviço em “baixa”, funciona nos Centros Operacionais do Cávado, do Ave e do Tâmega e Sousa (Águas do Noroeste S.A.).

6.2 CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA EMPRESA ÁGUAS DO NOROESTE, S.A.

A empresa Águas do Noroeste, S.A., no ano de 2014, possuía **676 contratos de fornecimento de energia elétrica**, dos quais 286 correspondiam ao Saneamento, 263 ao Abastecimento de Água e 4 a Serviços. Estas obrigadoriedades, no global, foram então responsáveis por **consumos e custos com energia elétrica superiores a 56 GWh e 5,5 milhões de euros**, respetivamente. Nos gráficos seguintes é apresentado o “peso” de cada componente no consumo e no custo com a energia elétrica consumida (Ferreira, 2014).

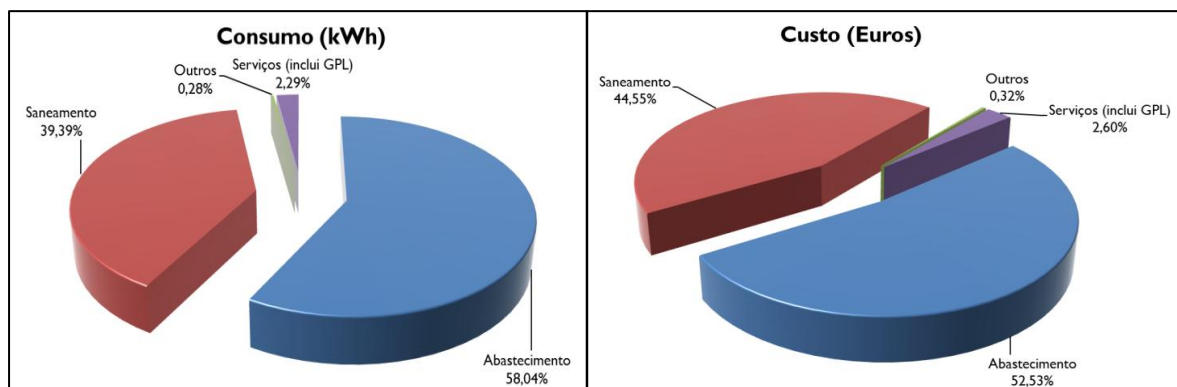


Figura 16 - Gráficos do Consumo e do Custo da energia elétrica, em 2014.

A seguir apresenta-se uma tabela onde são evidenciados os valores do consumo (kWh) e do custo da energia elétrica consumida (Euros) anualmente de cada uma das componentes dos gráficos da figura anterior (Ferreira, 2014):

Tabela 5 - Valores da energia consumida (kWh) e do custo com a energia consumida (Euros) de cada uma das componentes dos serviços que a empresa oferece, em 2014.

Designação	Nº de Contratos	Energia consumida (kWh)	Custos com energia consumida (€/ano)
Abastecimento	263	33214185	2919416,59 €
Saneamento	286	22539717	2475716,77 €
Serviços	4	1075573	117397,68 €
Outros	122	158887	17763,06 €
Gás de Petróleo Liquefeito	1	233378	27355,68 €
TOTAL	676	57221739	5557649,78 €

Pela análise dos gráficos e da tabela mostrada anteriormente verifica-se que a componente do Abastecimento nos dois casos é a mais relevante, representando 58,0% do consumo de energia global, o que corresponde a cerca de 33 milhões kWh, e a 52,5% do custo com a mesma, o que corresponde a cerca de 3 milhões de euros, seguida da parcela do Saneamento com 39,4% do consumo global, o que corresponde a 22 milhões kWh, e a 44,6% do custo com a energia global consumida, o que corresponde a cerca de 2 milhões de euros. Comparando estas duas componentes da empresa com as restantes salienta-se uma vez mais a relevância nos valores totais da energia consumida e no custo com esta (Ferreira, 2014).

Na área de negócio do Abastecimento, em 2014, o Subsistema de Areias de Vilar registou os maiores consumos e custos de energia elétrica, como mostra o gráfico da Figura 17 (Ferreira, 2014).

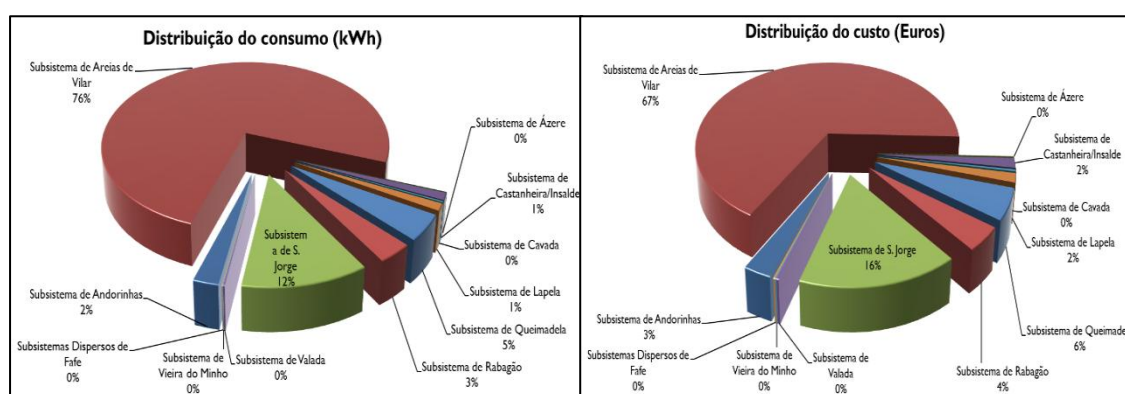


Figura 17 - Distribuição do consumo e do custo com a energia consumida por subsistema, em 2014.

Importa assim referir quais as infraestruturas responsáveis pelo consumo de energia elétrica neste subsistema. Na figura seguinte, é, então, apresentada a distribuição dos custos com a energia consumida (Euros) dando a entender quais as infraestruturas que apresentam maiores consumos de energia elétrica (Ferreira, 2014).

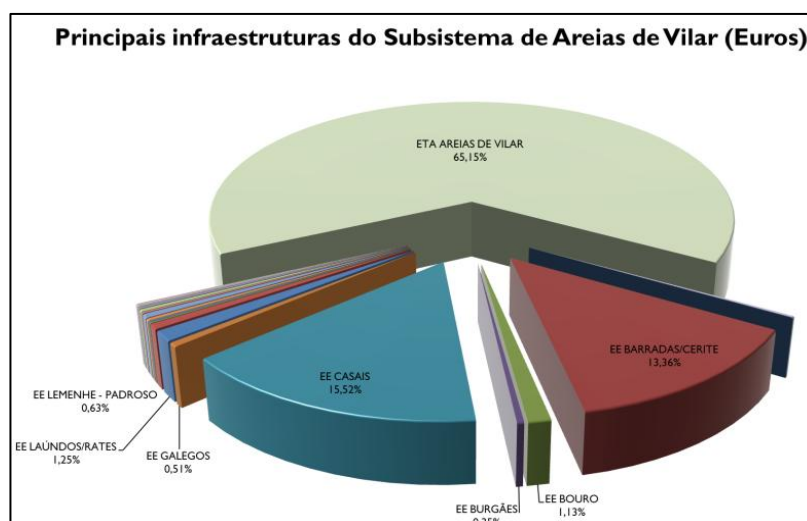


Figura 18 - Distribuição dos custos no Subsistema de Areias de Vilar, em 2014.

Conforme mostra a Figura 18, a Estação de Tratamento de Água é a infraestrutura com maior consumo energético do Subsistema de Areias de Vilar representando 65,2% dos custos com a energia elétrica consumida, no ano de 2014 (Ferreira, 2014).

Averiguando detalhadamente as operações da ETA de Areias de Vilar chega-se à conclusão que a elevação representa a maior fatia dos consumos de energia elétrica de toda a infraestrutura representando cerca de 90% destes. De notar ainda que a captação e a adução apresentam valores de 0% visto que, o gasto energético destas etapas, excluindo a elevação a elas associada que está contabilizada na sua parcela própria, é praticamente nulo. Este facto é comprovado pelo gráfico da figura seguinte que compara os consumos de todas as operações efetuadas na ETA e apresenta as percentagens destas no consumo de energia de toda a infraestrutura (Ferreira, 2014).

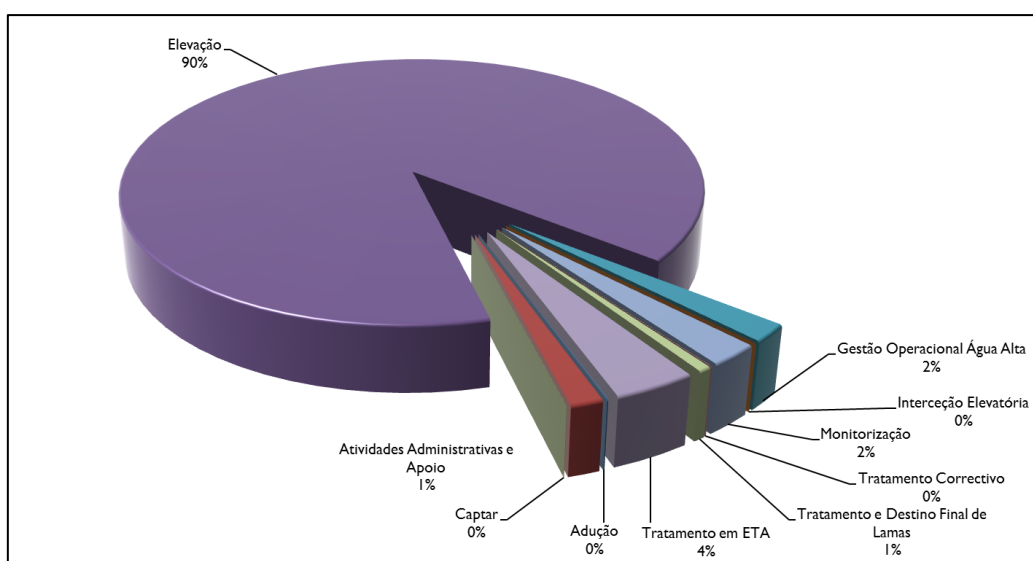


Figura 19 - Distribuição dos consumos de energia pelas operações da ETA, em 2014.

Na AdNw está patente a procura continuada de ações que fomentem a diminuição do consumo energético tendo assim implementado um plano de eficiência energética em 2002 que foi sendo renovado e redesenhado, o que resultou na mais recente versão posta em prática no ano de 2014 (Águas do Noroeste S.A., 2010).

Em 2010, a empresa tornou-se na primeira empresa portuguesa condecorada com o Prémio *GreenLight*, atribuído pela Comissão Europeia, devido à redução de 39,4% do consumo de energia elétrica na iluminação exterior das instalações da ETA de Areias de Vilar (Águas do Noroeste S.A., 2010; CE-IET, 2010).

No primeiro semestre do mesmo ano, a AdNw aderiu voluntariamente a mais uma iniciativa da Comissão Europeia, o *Motor Challenge Programme*. Assim, a AdNw comprometeu-se a melhorar a eficiência energética através da implementação de um plano de ação que levasse à redução efetiva do consumo de energia, incidindo especial enfoque nos equipamentos de acionamento das bombas. Passado um ano, a empresa foi mesmo galardoada devido a ações como a introdução de variadores de velocidade e de motores de eficiência energética em todas

as bombas, que permitiram uma poupança no consumo de energia de 1019,7 MWh/ano ou de 65857 euros/ano, com um período médio de *payback* de 1,23 anos com um investimento total de 81110 euros (Águas do Noroeste S.A., 2010; CE-IET, 2011).

6.3 PROCESSO PRODUTIVO DA ETA DE AREIAS DE VILAR

Comprovada a influência da ETA de Areias de Vilar na gestão da empresa AdNw importa mostrar qual o seu processo produtivo. A figura seguinte, ilustra o fluxograma do processo produtivo da ETA de Areias de Vilar (I-SETE, 2011).

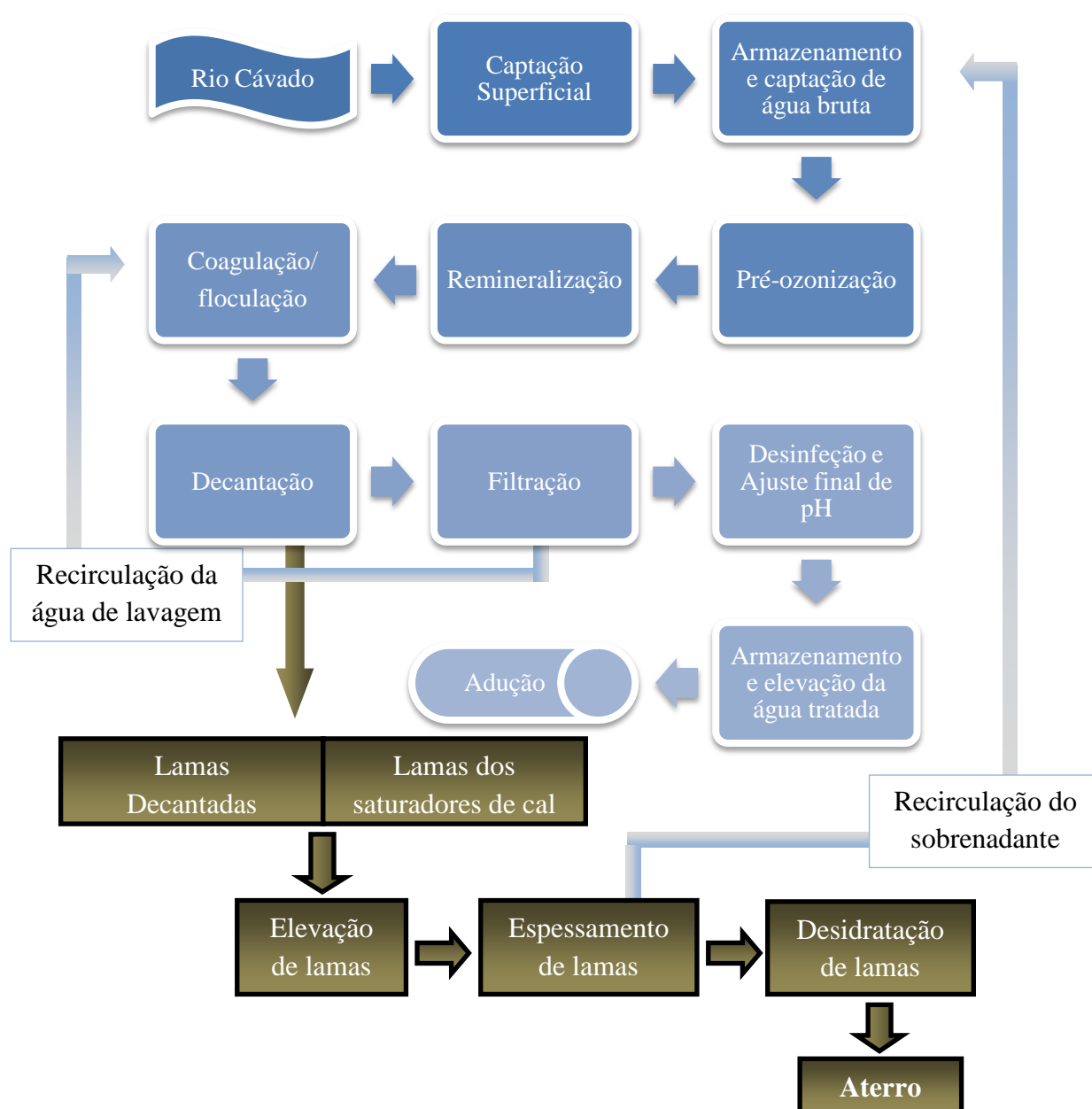


Figura 20 - Fluxograma do processo produtivo da ETA de Areias de Vilar.

6.3.1 Captação superficial, armazenamento e elevação de água bruta

A água bruta que sofrerá o processo de tratamento é a captada no rio Cávado por um grupo elevatório designado por *EE01*. A água captada é acondicionada em dois reservatórios de água bruta que tem uma capacidade conjunta para funcionar como uma reserva de água bruta para um dia de funcionamento da ETA. Destes reservatórios, a água é transportada por um segundo grupo elevatório, *EE02*, para a Estação de Tratamento de Água (I-SETE, 2011).

6.3.2 Pré - ozonização

Na Estação de Tratamento de Água, o primeiro processo de tratamento é a Pré-ozonização, onde se injeta Ozono, produzido nos dois geradores de Ozono que a ETA possui, o que permite uma remoção prévia de matéria orgânica e de algas que melhora algumas etapas de tratamento posteriores, como a coagulação/floculação. Esta injeção de Ozono é feita em Torres de Contacto com a difusão do Ozono a fazer-se em contra corrente com a água bruta, devido aos discos cerâmicos porosos instalados em duas câmaras fechadas, com uma altura de coluna de líquido de 6,5 metros e com um tempo de contacto de cinco minutos (I-SETE, 2011).

6.3.3 Remineralização

Nesta etapa do tratamento são adicionados à água dois reagentes: o Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2), conhecido por “leite de cal“, e o Dióxido de Carbono (CO_2). A reação química promovida gera carbonatos que conferem dureza cálcica à água.

Um conjunto de equipamentos colocados em cadeia, assegura o fornecimento e diluição de Óxido de Cálcio (CaO), cal, nas concentrações definidas. Este processo origina uma suspensão, o “leite de cal”, que é doseado na linha de tratamento de água com o intuito de, em conjunto com o CO_2 , remineralizar a água. Uma parte desta suspensão é conduzida para dar origem à “água de cal” (I-SETE, 2011).

6.3.4 Coagulação/Floculação

A coagulação/floculação fundamenta-se na remoção de partículas coloidais dispersas na água através da adição de um coagulante. Nesta fase, se a qualidade da água bruta o justificar, é adicionado carvão ativado em pó. Este reagente, por adsorção, permite a remoção de odores e de sabor à água, a supressão de alguns contaminantes, como é o caso de pesticidas, e da diminuição da matéria orgânica natural (I-SETE, 2011).

6.3.5 Decantação

Após a coagulação/floculação, formam-se flocos que são removidos, nesta etapa, com auxílio de quatro decantadores do tipo Lamelar. As lamas retidas são encaminhadas para a linha de Desidratação de Lamas e a água decantada segue para a etapa de Filtração (I-SETE, 2011).

6.3.6 Filtração

Esta etapa tem como finalidade a remoção dos flocos de menores dimensões que permaneceram após o processo de decantação, assegurando a clarificação final da água. A água a filtrar é distribuída igualmente pelos seis filtros rápidos de areia disponíveis, e atravessa a camada filtrante até à base dos filtros onde é recolhida através de ralos e conduzida para armazenamento. A lavagem dos filtros processa-se recorrendo a injeção combinada de ar e água e a água resultante é encaminhada para as câmaras de mistura rápida para iniciar o processo de Coagulação/Floculação (I-SETE, 2011).

6.3.7 Desinfeção final e ajuste final de pH

Concluídas as fases de tratamento, é realizada uma desinfeção com Cloro gasoso e um ajuste final de pH com recurso a “água de cal”. A água contacta com o Cloro no interior de dois tanques que possuem um conjunto de serpentinas que garantem uma mistura eficiente (I-SETE, 2011).

6.3.8 Armazenamento e elevação de água tratada

Após todas as etapas do tratamento estarem concluídas, a água tratada é armazenada em dois reservatórios e posteriormente elevada pelo sistema elevatório através de três bombas hidráulicas. Imediatamente após os grupos elevatórios encontra-se instalado na conduta um dispositivo de proteção contra o choque hidráulico, constituído por dois reservatórios hidropneumáticos (I-SETE, 2011).

6.3.9 Linha de tratamento de lamas

Esta linha inicia-se na estação elevatória de lamas que aglomera e eleva para dois espessadores de lamas, provenientes dos decantadores e dos saturadores de cal. Depois do espessamento, as lamas seguem para um tanque de equalização e o sobrenadante é encaminhado para a linha de tratamento de água e introduzido nos reservatórios de água bruta. O tratamento das lamas conclui-se com a desidratação mecânica destas, em duas centrífugas, e posterior encaminhamento para aterro (I-SETE, 2011).

Durante a elaboração desta dissertação, ocorreu um processo de remodelação no sector da água em Portugal. Constituiu-se a empresa **Águas do Norte S.A.**, pelo Decreto-Lei nº 93/2015, resultante da agregação das empresas Águas do Douro e Paiva, S.A., Águas dos Trás-os-Montes e Alto Douro S.A., Simdouro – Saneamento do Grande Porto S.A. e **Águas do Noroeste S.A.**, todas elas integradas no Grupo Águas de Portugal. A esta empresa foi-lhe concedida, em regime de exclusividade, pelo Estado Português, a concessão da exploração e da gestão do sistema multimunicipal de abastecimento de água e saneamento do Norte de

Portugal, pelo prazo de trinta anos. Esta agregação das empresas acima referidas permite o esforço coletivo de modo a alcançar benefícios na sustentabilidade económica e financeira do setor da água na região concessionada pela empresa Águas do Norte S.A. (Águas do Norte, 2015).

Assim, é da responsabilidade desta nova empresa concessionária a captação, o tratamento e abastecimento de água para consumo público, a recolha, o tratamento e a rejeição de efluentes domésticos, urbanos, industriais e originários de fossas sépticas. Está-lhe também atribuída a responsabilidade da **exploração e gestão do sistema de águas do Noroeste**, devido ao contrato de parceria existente entre o Estado e 8 Municípios, que transita da empresa, Águas do Noroeste S.A., que concessionava essa região nessa data.

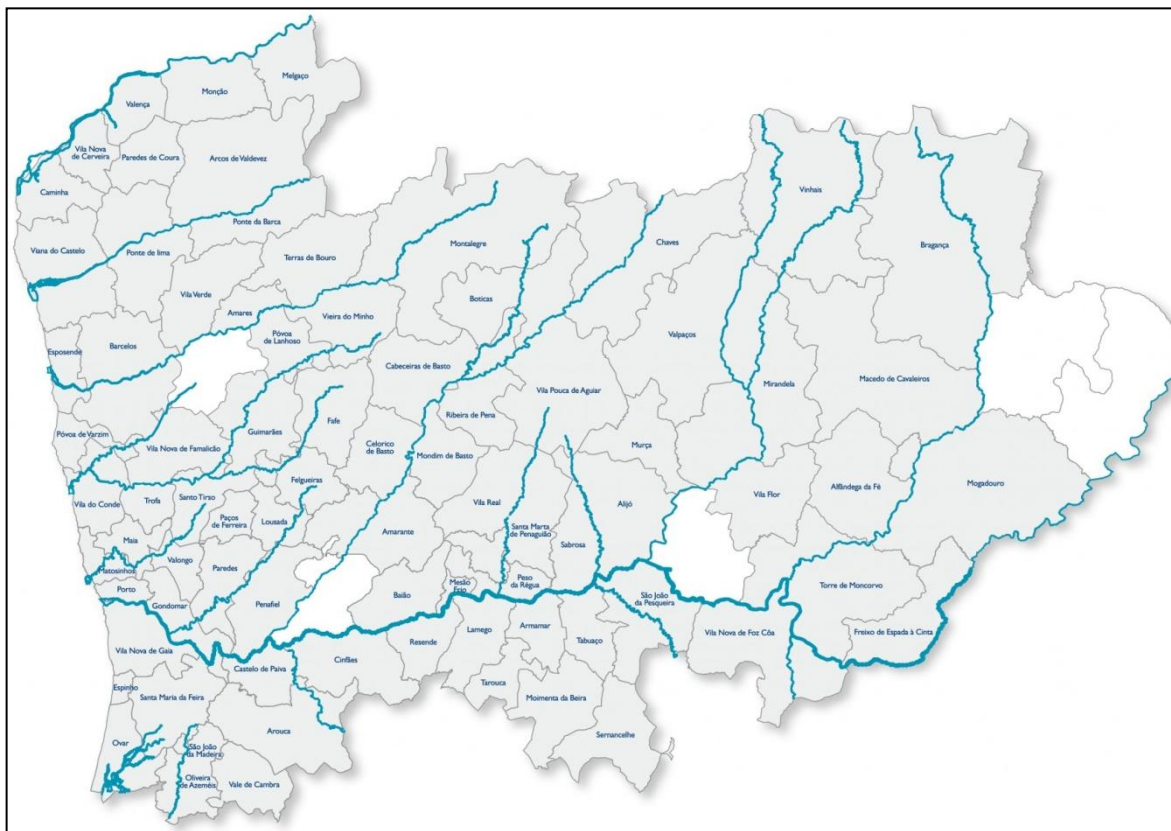


Figura 21 - Mapa dos municípios pertencentes à concessão da empresa Águas do Norte S.A..

7

SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ADUTORA EM ESTUDO

A ETA de Areias de Vilar encontra-se em Barcelos e capta água do rio Cávado, como exemplificado na Figura 19.

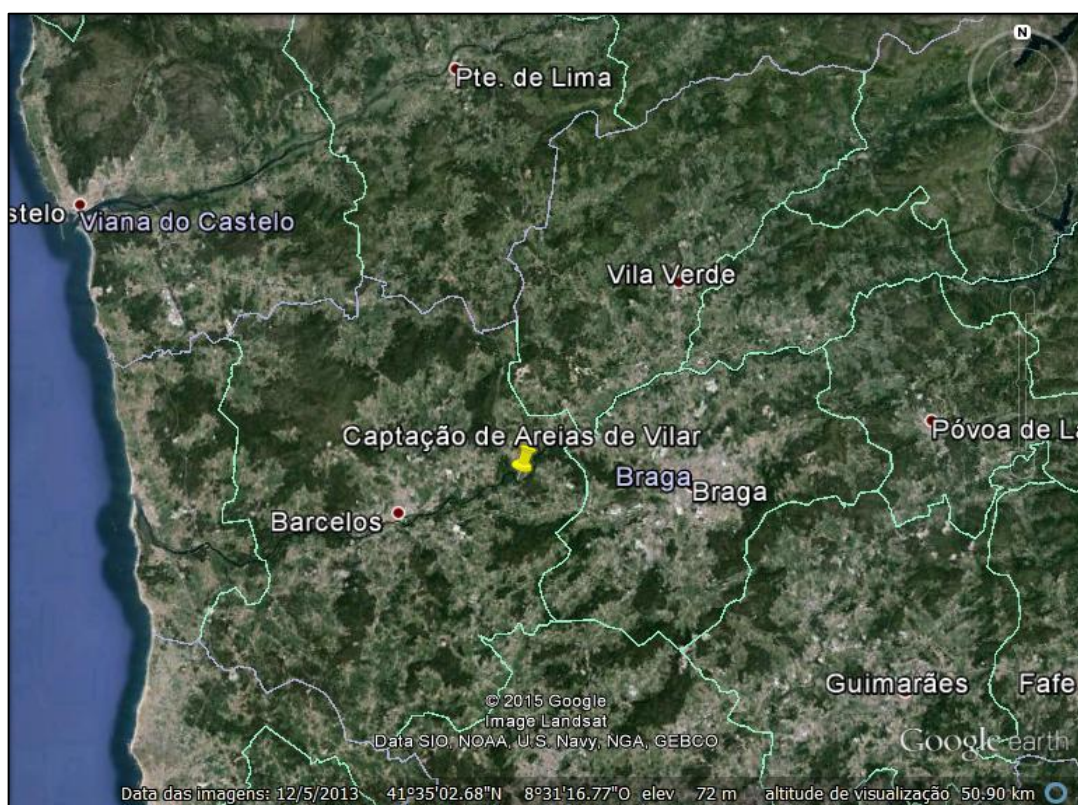


Figura 22 - Localização da ETA de Areias de Vilar.



Figura 23 - ETA de Areias de Vilar.



Figura 24 - ETA de Areias de Vilar, conduta de elevação e reservatório de Adães.

Neste estudo foi utilizado um modelo simplificado do sistema adutor sendo este apresentado na Figura 25.

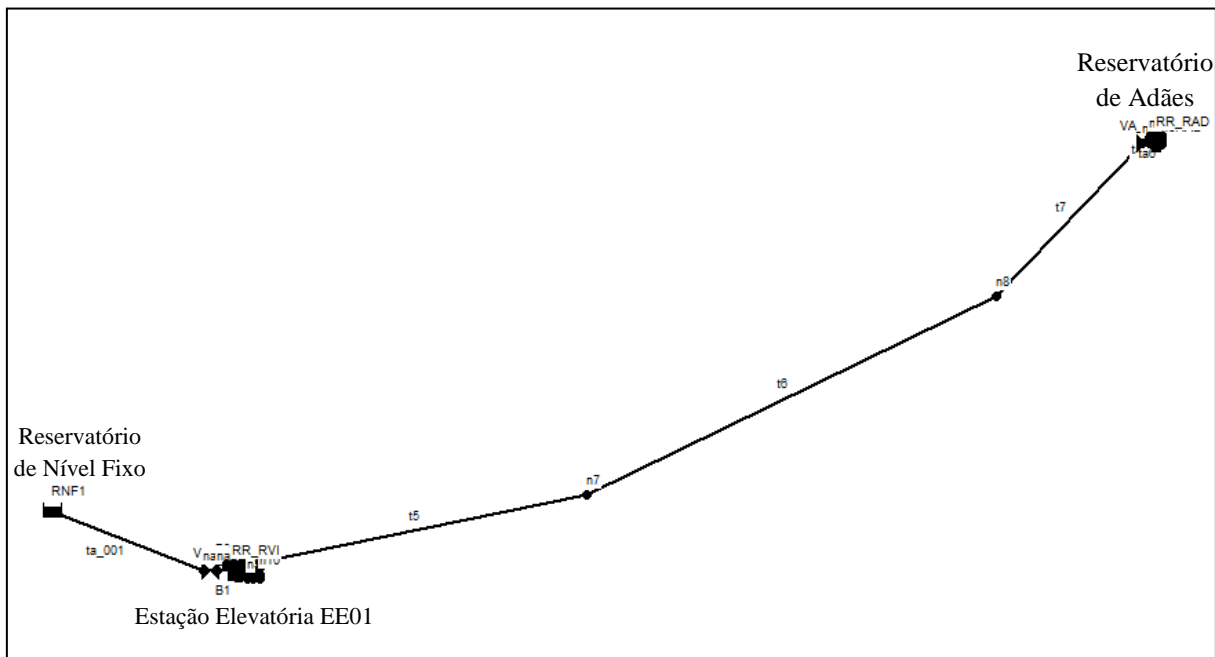


Figura 25- Representação do modelo simplificado do sistema adutor em estudo.

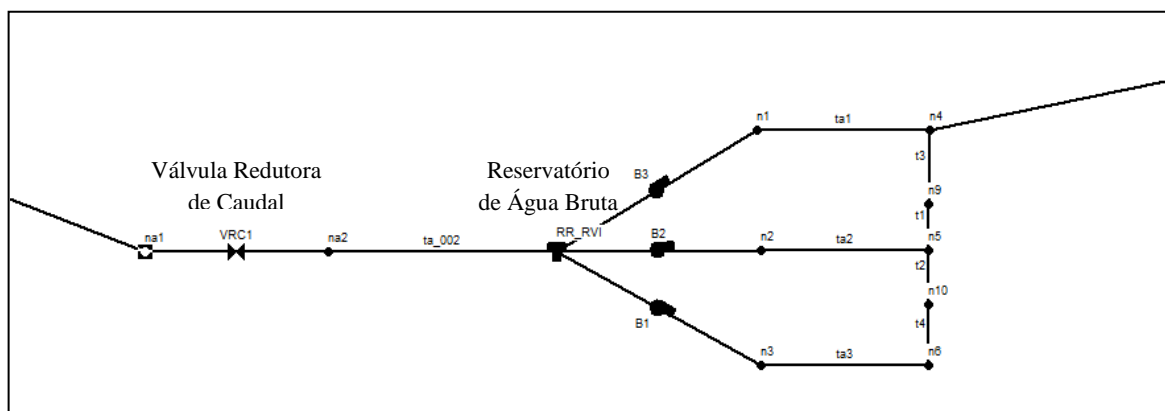


Figura 26 – Modelação da Estação Elevatória EE01.

7.1 MODELO HIDRÁULICO

7.1.1 Reservatórios

O sistema adutor em estudo é constituído por três reservatórios: um de nível fixo, que alimenta a Estação Elevatória EE01, e dois de nível variável, Reservatório de Água Bruta – RR_RVI e Reservatório de Adões – RR_RAD, este último abastecido pela Estação Elevatória EE01.

Neste estudo, considerou-se que o reservatório de nível fixo apresenta sempre disponibilidade de água tornando a descrição das suas características dispensável.

Na tabela seguinte são expostos os parâmetros caracterizadores dos Reservatórios de Água Bruta e Adões.

Tabela 6- Características dos Reservatórios de Água Bruta e de Adões.

	Nº de Células	Diâmetro equivalente (m)	Capacidade Total (m ³)	Cota (m)	
				Base	Cota Máxima
RR_RVI	1	71,4	20000	14	19
RR_RAD	2	35,9	5000	144	149

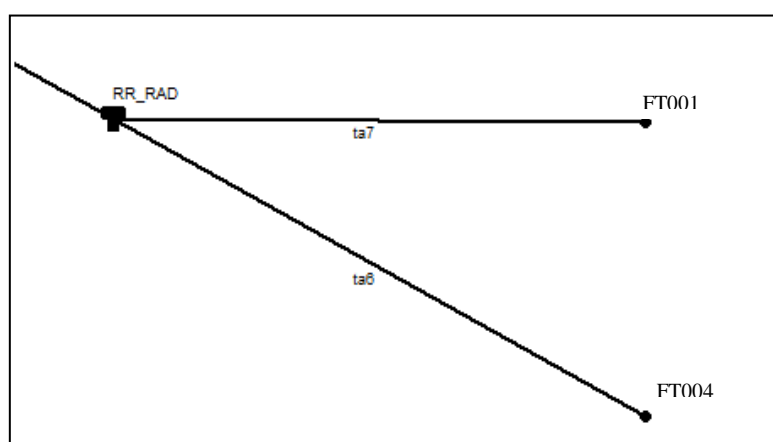


Figura 27- Vista pormenor do Reservatório de Adões e dos nós de consumo (FT001 e FT004).

7.1.2 Estação Elevatória

A estação elevatória do sistema em estudo possui três bombas iguais, com capacidade para ser adicionada mais uma, pertencentes ao modelo 350-LNN-725, da marca IDP, dispostas em paralelo quanto ao seu funcionamento conjunto. Com a política de operação, atualmente, implementada, apenas funcionam duas bombas em simultâneo. De seguida, apresenta-se a Curva Característica das Bombas, a utilizar no EPANET.

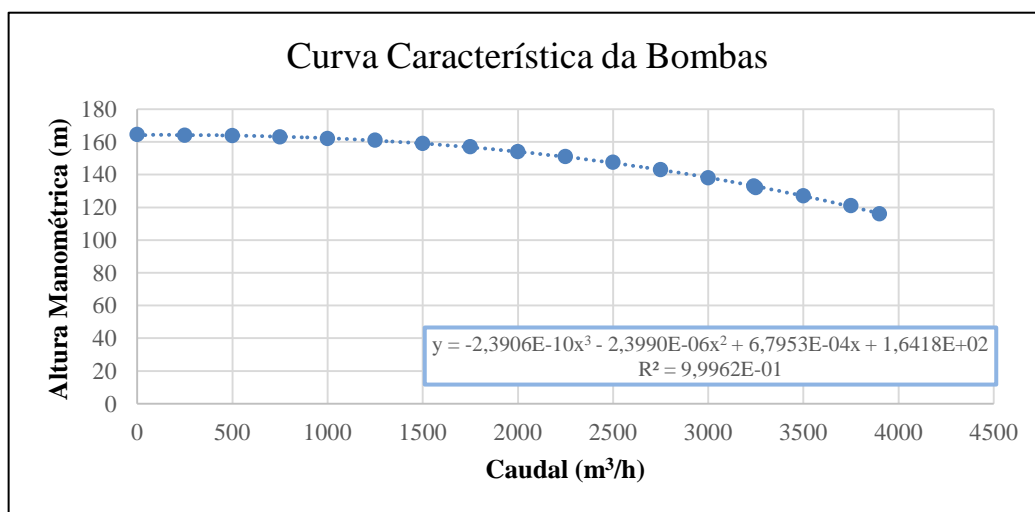


Figura 28 - Curva Característica das bombas em função do caudal.

Através de consulta ao fornecedor da bomba, também foi possível construir a Curva de Rendimento da bomba, constante da Figura 29.

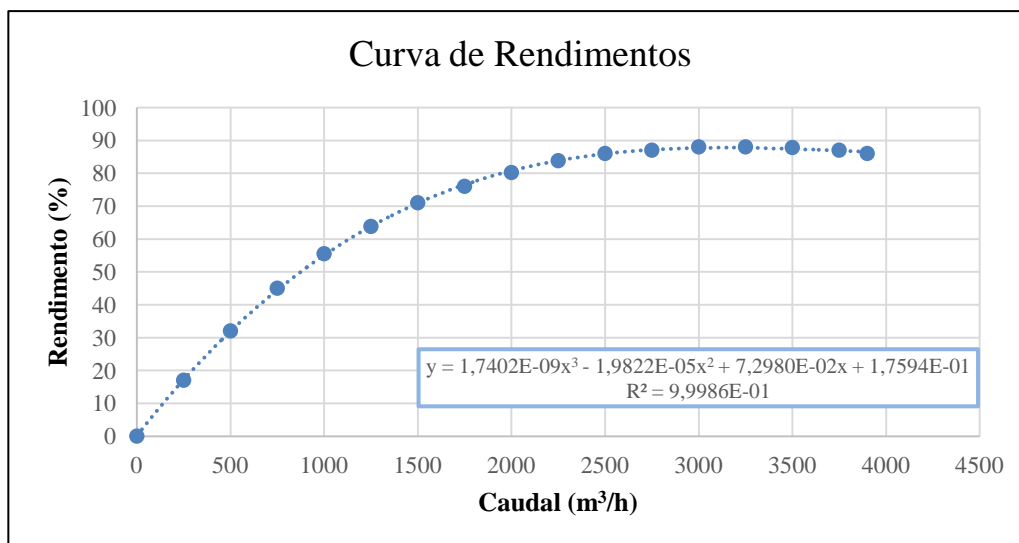


Figura 29 - Curva de Rendimentos em função do caudal.

7.1.3 Sistema Adutor

Na constituição do sistema elevatório estudado encontram-se cerca de 2472 m de condutas adutoras em ferro fundido dúctil. Os diâmetros das condutas variam entre o DN 100 mm e o DN 1400 mm.

7.1.4 Padrão horário de consumo

De forma a complementar a simulação criada no EPANET do sistema elevatório, a empresa AdNw forneceu os registos dos consumos à saída do reservatório de Adães, do ano de 2014, tanto para uma estação elevatória lá existente, representada na simulação pelo nó nEAD, como para a conduta gravítica, representada na simulação por ncRAD.

Os registos fornecidos exibem os caudais de saída do reservatório para as duas vertentes, estação elevatória (FT004) e conduta gravítica (FT001), em m^3/h , registados a cada 5 minutos. A partir destes registos foi calculado os caudais de saída para um dia médio, a cada 15 minutos, e os fatores de consumo associados, para os dias úteis, para o sábado e para o domingo, os caudais de saída de um dia médio, a cada hora e os fatores de consumo horários, para os dias úteis, para o sábado e para o domingo, e o caudal médio de consumo de um dia médio, para os dias úteis, para o sábado e para o domingo. Os cálculos elaborados foram utilizados os registos dos meses Maio e Junho, correspondentes à Hora Legal de verão da Tarifa de Energia Elétrica, e os meses de Outubro e Novembro, correspondentes à Hora Legal de inverno da Tarifa de Energia Elétrica. Na Tabela 7, são apresentados os caudais médios de um dia médio das épocas do ano usadas, para os dias úteis, para o sábado e o domingo, em m^3/h .

Tabela 7 - Caudais médios de um dia médio das épocas do ano usadas, para os dias úteis, para o sábado e o domingo.

Épocas do ano			Q dia médio (m^3/h)	
			FT001	FT004
Hora Legal de verão	maio	Dias Úteis	3196,7	11,618
		Sábado	3719,9	15,493
		Domingo	3254,4	10,748
	junho	Dias Úteis	3400,8	10,469
		Sábado	3794,8	15,349
		Domingo	3300,2	14,058
Hora Legal de inverno	outubro	Dias Úteis	3030,9	10,160
		Sábado	3430,7	13,172
		Domingo	3006,3	11,425
	novembro	Dias Úteis	2943,2	8,9166
		Sábado	3269,4	12,631
		Domingo	3018,1	12,672

Os fatores horários de consumo, representados a cada 15 minutos, calculados para as épocas do ano escolhidas encontram-se presentes no ANEXO A.

Pela análise dos gráficos dos padrões de consumo é possível concluir que, devido à política de operação imposta a jusante, os picos do consumo situam-se fora da hora de ponta, havendo portanto uma tentativa dos operadores das estações elevatórias a jusante de reduzir o custo da elevação. Os valores dos fatores de consumo foram usados na simulação realizada com o EPANET.

7.1.5 Padrão Horário da Tarifa Elétrica

De forma a analisar os dois períodos da hora legal, é apropriado definir quais os valores da tarifa elétrica ao longo do dia. As variações a cada 15 minutos da tarifa elétrica para os períodos de verão e inverno, nos dias úteis, no sábado e no domingo, encontram-se evidenciados no ANEXO B.

7.2 A SIMULAÇÃO HIDRÁULICA COM A UTILIZAÇÃO DO EPANET

7.2.1 Construção do ficheiro com a rede modelada

Para que o simulador hidráulico, EPANET, funcione corretamente, existem algumas regras e recomendações que devem ser cumpridas. Assim, para que não ocorram erros ou conflitos teve-se em atenção (Almeida, 2010; Costa, 2009):

- Na criação da rede a modelar com principal enfoque nas características das condutas como o comprimento, o diâmetro e a rugosidade;
- Nas características gerais dos reservatórios como o diâmetro, a altura de água máxima e mínima, a altura de água inicial e a cota;
- Nos dados gerais das válvulas: nó inicial e final, tipo, diâmetro e *setting*;
- Nas unidades das variáveis em causa nomeadamente o caudal (neste estudo foi selecionada a opção *CMH – cubic meters per hour* - ou seja, metros cúbicos por hora;
- Nos padrões de consumo de água, devem estar associados, para cada intervalo de tempo, os respetivos fatores de consumo que, ao multiplicar pelo consumo base, dão origem ao caudal médio consumido durante esse intervalo de tempo. Estes fatores de consumo devem estar corretamente definidos na secção *Patterns* (Padrões);
- O padrão tarifário da energia elétrica deve estar também definido na secção *Patterns* (Padrões) e no quadro de edição de cada grupo elevatório, no campo *energy price* (preço de energia), deve ser escrito o número 1 para que, os

valores constantes no padrão tarifário representem o próprio custo de energia em cada intervalo de tempo, neste caso a cada 15 minutos, em €/kWh.

- Nos nós de consumo à saída do reservatório, no campo de edição *base demand* (consumo base) deve ser indicado o consumo médio diário (para o dia em análise) na unidade metros cúbicos por hora;
- Na necessidade de ser adicionada a curva característica de cada bomba (CCB) tal como as respetivas curvas de rendimento. Neste caso foi apenas necessário definir uma única CCB e uma única curva de rendimento dado que, as bombas são todas do mesmo modelo;
- Na introdução de Controlos Múltiplos para definição dos níveis operativos dos grupos de bombagem.

7.2.2 Dados de entrada no programa

Como foi indicado no capítulo anterior, é necessário ter atenção a alguns parâmetros para o correto funcionamento do *software*. Assim, torna-se imperial a atribuição de valores a alguns campos característicos de um equipamento ou do próprio sistema. Os valores introduzidos para os equipamentos foram apresentados aquando a descrição da situação de referência, no Capítulo 7, contudo, ainda foram adicionados mais alguns dados:

- Altura máxima de água admissível no RNV – 5,1 m;
- Controlos Múltiplos para definição dos níveis de arranque e paragem das bombas.

8 RESULTADOS OBTIDOS. CONCLUSÕES.

8.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O objetivo deste capítulo é a exposição dos resultados obtidos através da aplicação do algoritmo de otimização em Excel, para auxílio na identificação dos critérios operacionais a considerar na operação dos grupos elevatórios, e da simulação hidráulica realizada pelo EPANET com a introdução dos níveis de funcionamento encontrados. Assim, pretende-se apurar a melhor política operacional para diferentes capacidades do reservatório de nível variável de Adães, 10000 m³ e 20000 m³, identificando qual das capacidades de ampliação representaria, em comparação com a de referência, 5000 m³, uma maior poupança no custo da energia elétrica consumida.

Os períodos analisados foram os meses de Maio e Junho, referentes à Hora Legal de Verão, e os meses de Outubro e Novembro, referentes à Hora Legal de Inverno. A simulação hidráulica efetuada estendeu-se para 120 horas, ou seja, 5 dias, de modo a procurar-se uma estabilização nos níveis de água no reservatório de nível variável após a introdução dos critérios operacionais. Os padrões de consumo e da tarifa da energia elétrica a introduzir no EPANET, foram definidos para intervalos de tempo de 15 minutos de forma a serem concordantes com as variações na tarifa elétrica. Através da introdução de controlos múltiplos para definição dos critérios operacionais, o estado das bombas é alterado de acordo com os níveis de água em cada período.

Importa ainda referir que, apesar de se ter conhecimento que a qualidade da água é um aspeto importante nos sistemas de abastecimento e de que, quanto maior a capacidade dos reservatórios maior será o decaimento do cloro, este parâmetro não foi tido em conta neste estudo.

8.2 OS RESULTADOS OBTIDOS

8.2.1 Resultados obtidos com o algoritmo de otimização

Estes meses em estudo, como já referido, dizem respeito ao tarifário correspondente à hora legal de verão e de inverno. No algoritmo de otimização contido na folha de cálculo do Excel foram introduzidos os volumes de água consumidos por hora, de cada uma das saídas do reservatório de Adães encontrando-se, assim, os fatores horários de consumo totais (resultado do somatório dos volumes consumidos pelas duas saídas). Foram também introduzidos os valores referentes à tarifa de energia elétrica, relativos ao período em questão e ao dia da semana correspondente, pois como se observou na secção 2.6, existem variações na tarifa de acordo com o dia da semana. Após esta introdução de dados, inicia-se as iterações, para as capacidades dos reservatórios a estudar, estando entre elas, a capacidade que condiz com a situação de referência. Os resultados deste algoritmo são gráficos semelhantes com os que foram apresentados na secção 5.6, que explica o funcionamento desta ferramenta de otimização.

As figuras a seguir anunciadas traduzem os gráficos obtidos através deste algoritmo apenas para os dias úteis do mês de maio e para uma capacidade do reservatório de nível variável de 5000 m³, de modo, a elucidar o processo de obtenção dos critérios operacionais. Este processo foi repetido para os dois períodos tarifários, para os dias da semana correspondentes às variações na tarifa da energia elétrica e para as diferentes capacidades de armazenamento do reservatório.

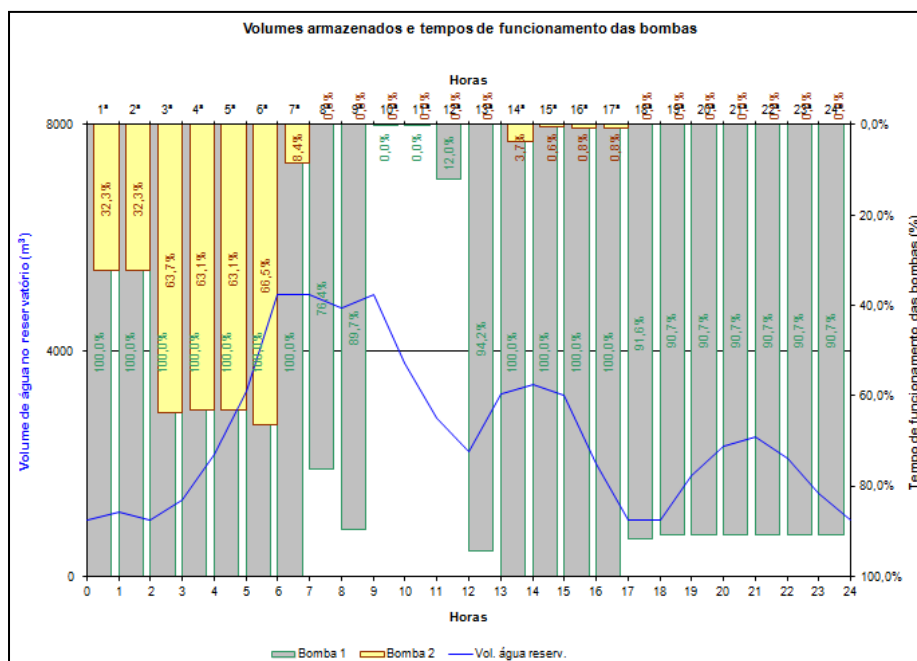


Figura 30 - Volumes de água armazenados e tempos de funcionamento das bombas hidráulicas para os dias úteis de maio e para uma capacidade do reservatório de 5000 m³.

Com os gráficos obtidos, foram encontrados os níveis de arranque e paragens dos grupos elevatórios, como descrito na secção 5.7. Estes níveis são utilizados e introduzidos no EPANET para a realização da simulação hidráulica.

8.2.2 Resultados obtidos após simulação no EPANET

Dos resultados obtidos do algoritmo otimizador, os critérios operacionais das bombas hidráulicas foram ajustados no EPANET, sob a forma de controlos múltiplos, de modo a que o volume de água elevado e o tempo de bombagem fosse semelhante ao encontrado nesse algoritmo. Este subcapítulo pretende mostrar os resultados recolhidos do simulador hidráulico.

É relevante referir ainda que optou-se por mostrar os resultados do último dia da simulação visto que, as alturas de água no reservatório apresentam maior estabilidade, e adicionou-se a restrição de a terceira bomba estar sempre desligada durante a simulação tornando este estudo mais coerente com a situação real, visto que a elevação feita pela ETA de Areias de Vilar apenas recorre a duas bombas hidráulicas.

- Para a situação de referência, ou seja, um reservatório com a **capacidade de 5000 m³**, no mês de maio e para os dias úteis:

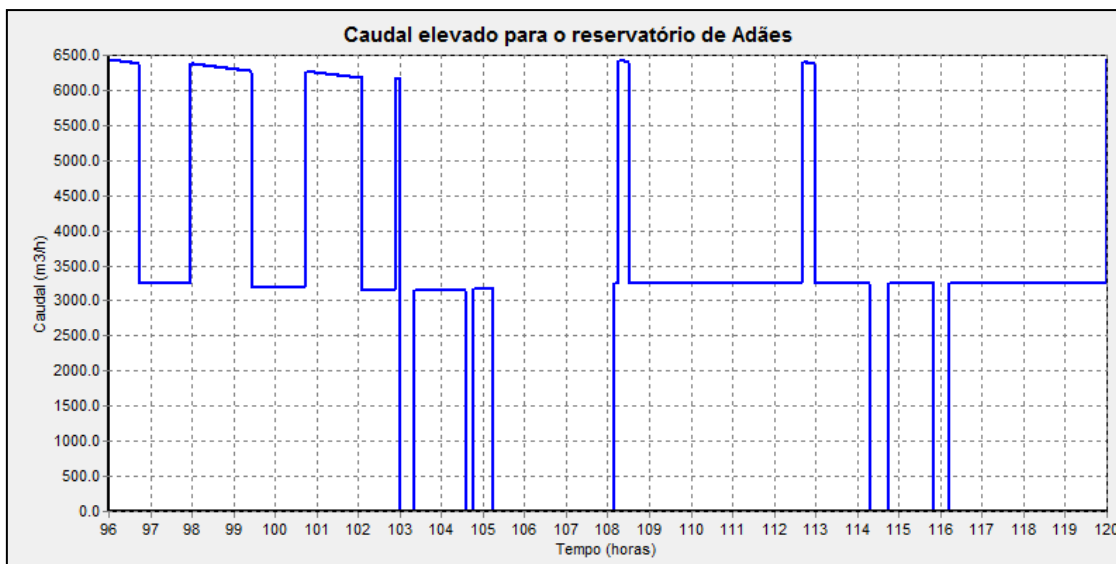


Figura 31 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.

A análise desta figura conclui que na hora de tarifário mais caro horas de Ponta – 09:15 h às 12:15 h, as bombas hidráulicas estão desligadas e no período das horas de Cheias, 07:00 h às 09:15 h e 12:15 h às 24:00 h, só funciona, praticamente, uma bomba com reforço da

segunda em duas situações, para repor a altura no reservatório de modo a responder ao consumo.

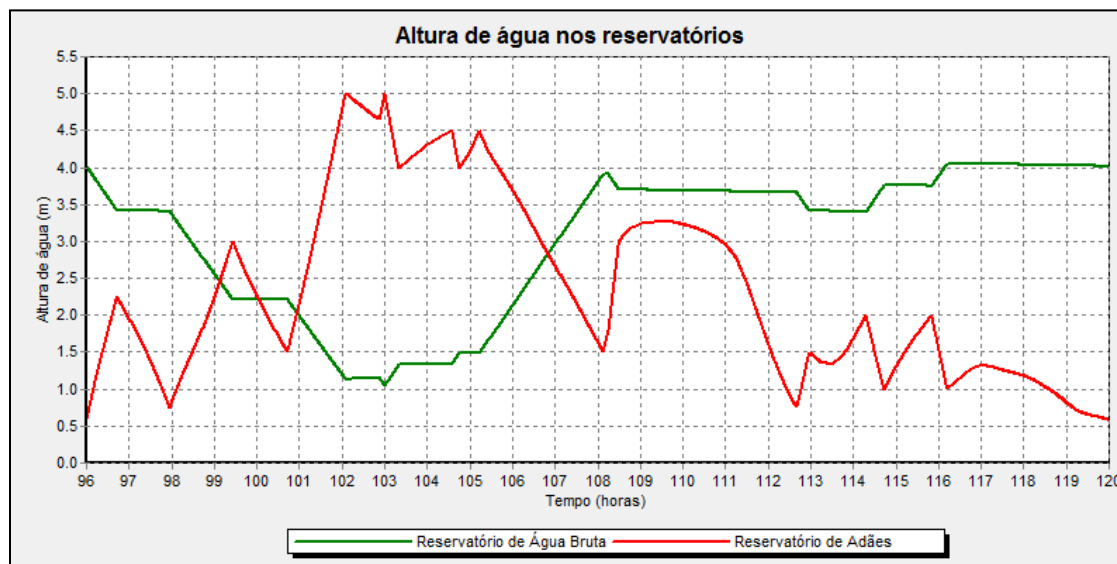


Figura 32 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.

Como se pode observar, o reservatório de Adães encontra-se na sua capacidade máxima no início das horas de Ponta, de forma a conseguir-se interromper a bombagem neste período. A altura de água dos reservatórios é praticamente a mesma no início e no final do dia.

A Tabela 8 fornece os resultados do relatório de energia obtido do EPANET.

Tabela 8 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.

Bombas	Percentagem de utilização (%)	Eficiência Média (%)	kWh/m ³	Potência média (kW)	Potência Máxima (kW)	Custo /dia (€/dia)
B1	17,69	86,76	0,93	1296,8	1328,6	352,9
B2	82,53	86,76	0,50	1321,1	1331,8	2090,7
B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Total (€/dia)	2443,7					

Observando esta tabela conclui-se que existe uma bomba que trabalha, praticamente todo o tempo e que o custo desta política de operação dos grupos de bombagem é de 2443,7 €/dia.

- Para um reservatório com a **capacidade de 10000 m³**, no mês de maio e para os **dias úteis**:

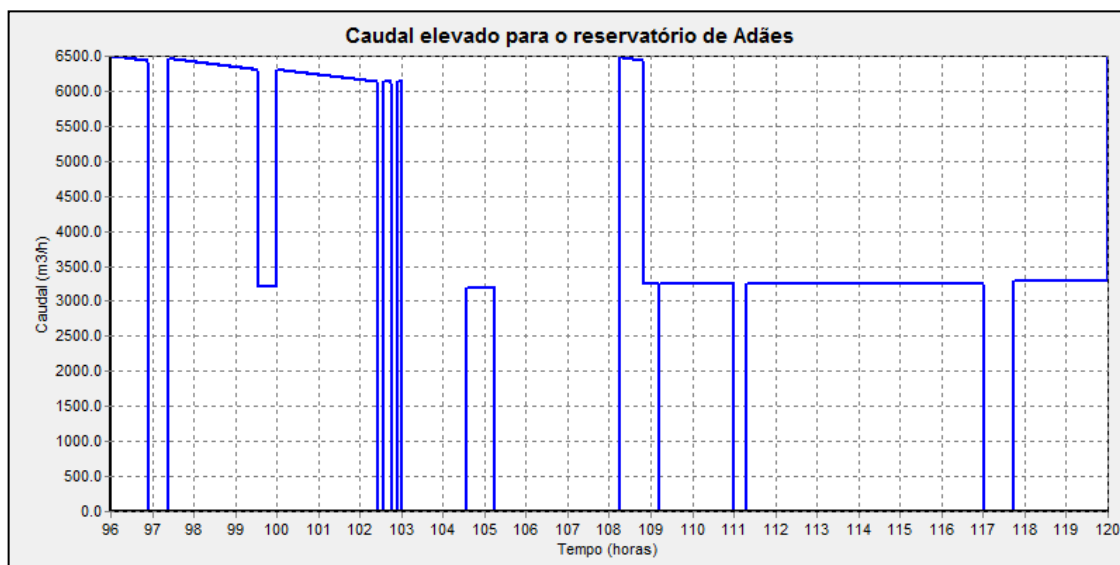


Figura 33 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.

Esta figura mostra que na hora de tarifário mais caro horas de Ponta – 09:15 h às 12:15 h, as bombas hidráulicas voltam a estar desligadas e no período das horas de Cheias, 07:00 h às 09:15 h e 12:15 h às 24:00 h, apenas funciona uma bomba, com reforço da segunda numa única situação. Conclui-se também que com uma capacidade duplicada em relação á situação de referência, existe um maior tempo em que as bombas não funcionam.

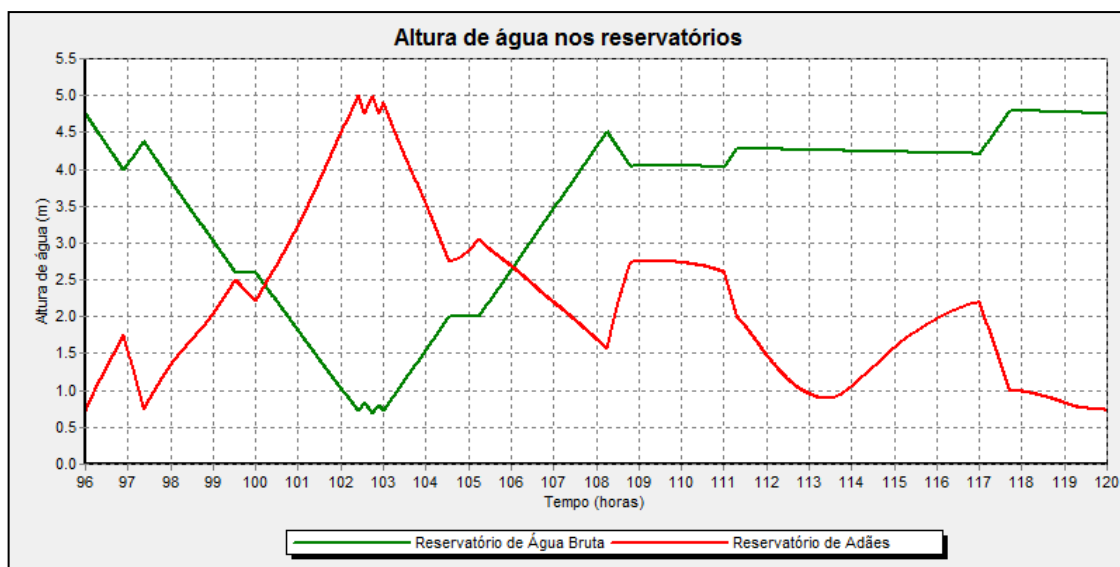


Figura 34 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.

Com este gráfico observa-se uma maior regularização no caudal elevado pelo que, o reservatório de Adães, no início das horas de Ponta, atinge o seu máximo de capacidade. A altura de água dos reservatórios é praticamente a mesma no início e no final do dia.

Tabela 9 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.

Bombas	Percentagem de utilização (%)	Eficiência Média (%)	kWh/m ³	Potência média (kW)	Potência Máxima (kW)	Custo /dia (€/dia)
B1	26,24	86,93	0,86	1301,1	1333,6	527,0
B2	73,20	87,52	0,60	1317,7	1334,9	1841,8
B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Total (€/dia)						2368,9

Analisando a tabela conclui-se que existe uma bomba que trabalha, praticamente todo o tempo e que o custo desta política de operação dos grupos de bombagem é de 2368,9 €/dia.

- Para reservatório com a **capacidade de 20000 m³, no mês de maio e para os dias úteis:**

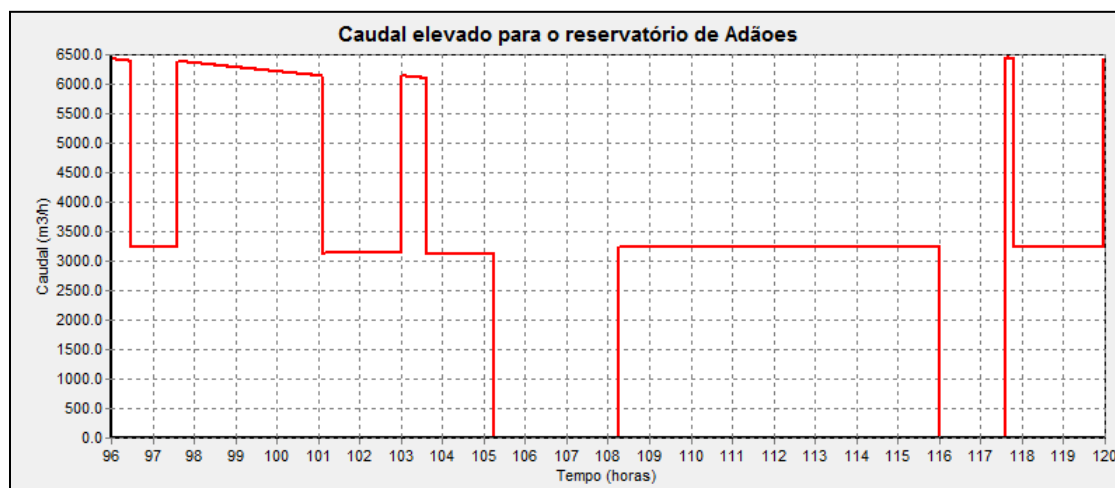


Figura 35 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.

Esta figura mostra que na hora de tarifário mais caro horas de Ponta – 09:15 h às 12:15 h, as bombas hidráulicas voltam a estar desligadas e no período das horas de Cheias, 07:00 h às 09:15 h e 12:15 h às 24:00 h, apenas uma bomba se encontra a funcionar, com reforço da segunda numa única situação. Neste caso, com uma capacidade quadruplicada em relação à situação de referência, existe um maior tempo em que se encontra a funcionar uma única bomba.

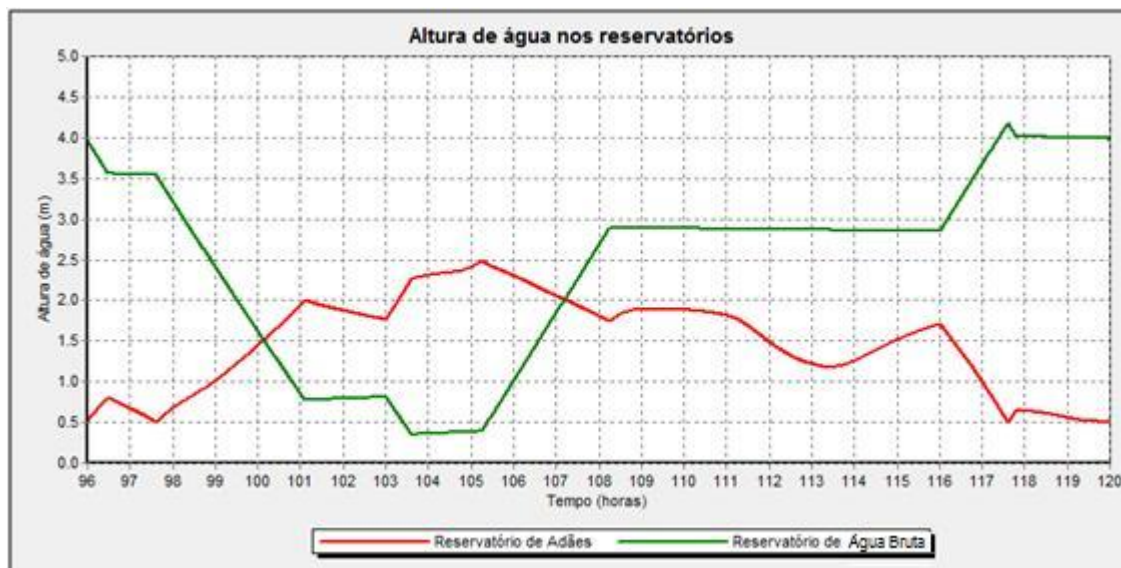


Figura 36 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.

Analisando este gráfico conclui-se que a capacidade de 20000 m³, do reservatório de Adães, leva ao mínimo a altura de água no reservatório de nível fixo pelo que não parece ser muito adequada.

Tabela 10 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.

Bombas	Percentagem de utilização (%)	Eficiência Média (%)	kWh/m ³	Potência média (kW)	Potência Máxima (kW)	Custo /dia (€/dia)
B1	26,47	87,32	0,70	1299,4	1330,1	588,1
B2	74,00	87,87	0,47	1320,9	1331,5	1847,7
B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Total (€/dia)	2435,8					

Desta tabela a política de operação dos grupos de bombagem é representa por um custo custo diário de 2435,8 €/dia.

- Para a situação de referência, ou seja, um reservatório com a **capacidade de 5000 m³**, no mês de maio e para os sábados:

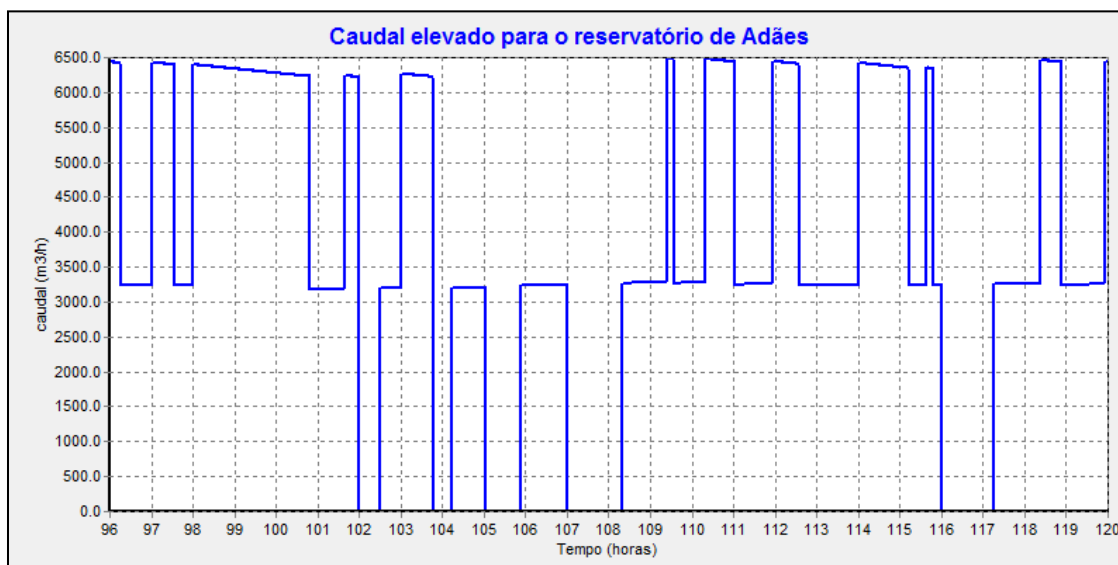


Figura 37 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.

A conclusão desta figura é constante intermitência no funcionamento dos grupos de bombagem, embora nos períodos de maior tarifa, horas de Cheias, 09:00 h às 14:00 h e 20:00 h às 22:00 h, o tempo de bombagem é muito menor.

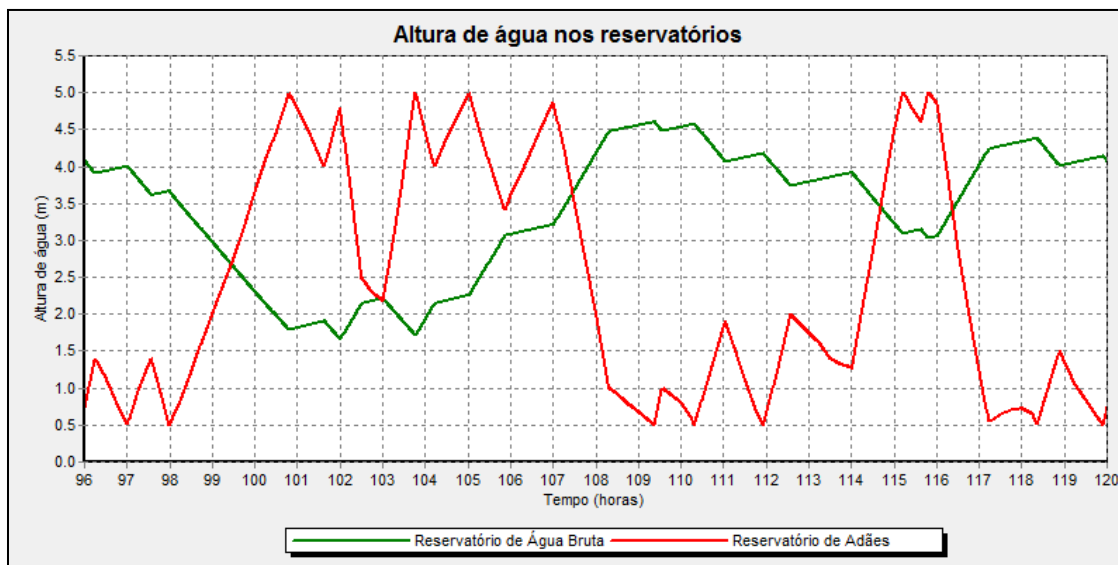


Figura 38 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.

Esta figura comprova a intermitência no funcionamento das bombas com a grande variação nas alturas de água dos reservatórios.

Tabela 11 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.

Bombas	Percentagem de utilização (%)	Eficiência Média (%)	kWh/m ³	Potência média (kW)	Potência Máxima (kW)	Custo /dia (€/dia)
B1	34,35	86,74	0,93	1301,9	1333,5	694,6
B2	82,00	87,84	0,48	1322,9	1333,5	1826,3
B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Total (€/dia)						2520,9

Observando esta tabela conclui-se que uma das bombas trabalha grande parte do dia e que o custo desta política de operação dos grupos de bombagem é de 2520,9 €/dia. Este custo apresenta-se maior que qualquer outro visto que o consumo de água neste dia da semana é mais elevado o que leva a uma maior dificuldade no ajuste dos níveis de paragem e arranque das bombas hidráulicas.

- Para um reservatório com a **capacidade de 10000 m³**, no mês de maio e para os **sábados**:

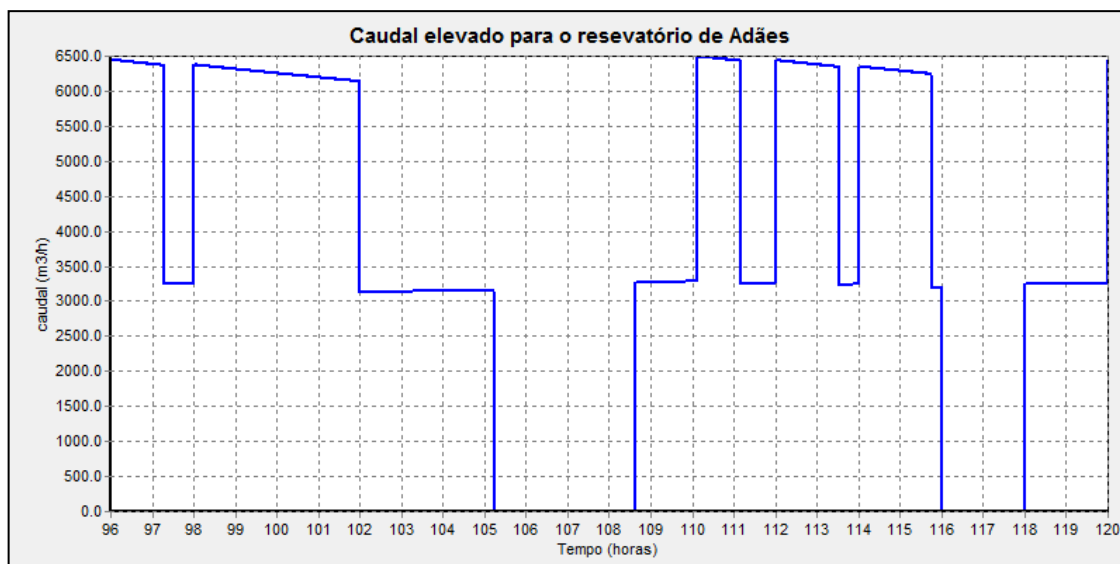


Figura 39 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.

Esta figura evidencia uma maior regularização na operação de bombagem e a diminuição do funcionamento das bombas em períodos de tarifa mais elevada.

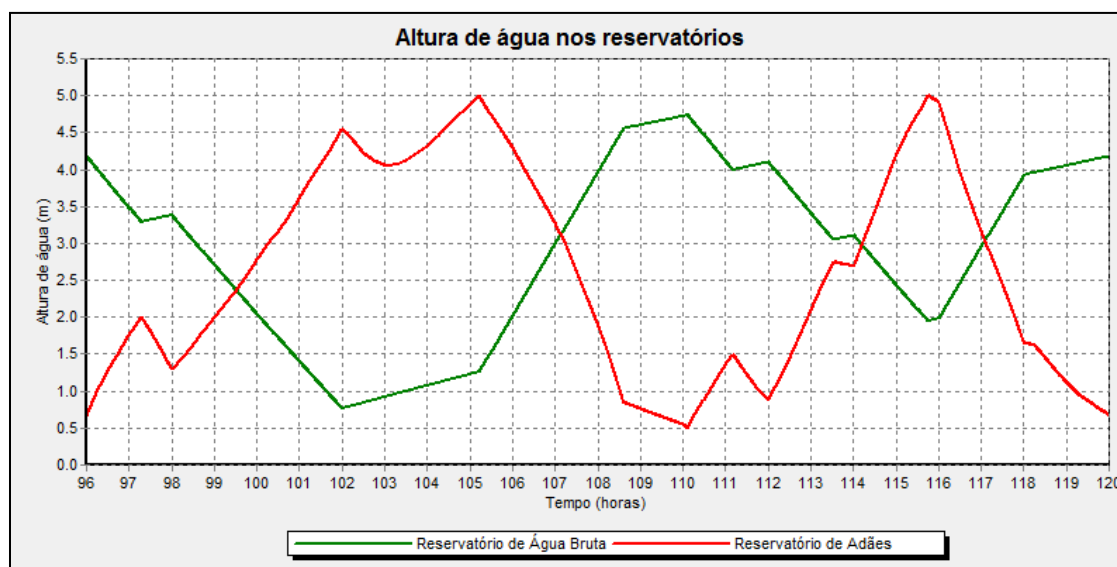


Figura 40 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.

Este gráfico aqui exibido apresenta um padrão de otimização mais característico com a altura de água no reservatório de Adães a atingir o máximo mesmo antes dos períodos de Cheia.

Tabela 12 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.

Bombas	Percentagem de utilização (%)	Eficiência Média (%)	kWh/m ³	Potência média (kW)	Potência Máxima (kW)	Custo /dia (€/dia)
B1	39,94	87,31	0,70	1307,0	1333,5	801,1
B2	77,46	87,89	0,46	1318,7	1334,3	1665,24
B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Total (€/dia)						2466,4

Nesta tabela chama-se a atenção para o facto de o custo desta política de operação dos grupos de bombagem ter baixado para o valor de 2466,4 €/dia, comparativamente à situação de referência.

- Para um reservatório com a **capacidade de 20000 m³**, no mês de maio e para os **sábados**:

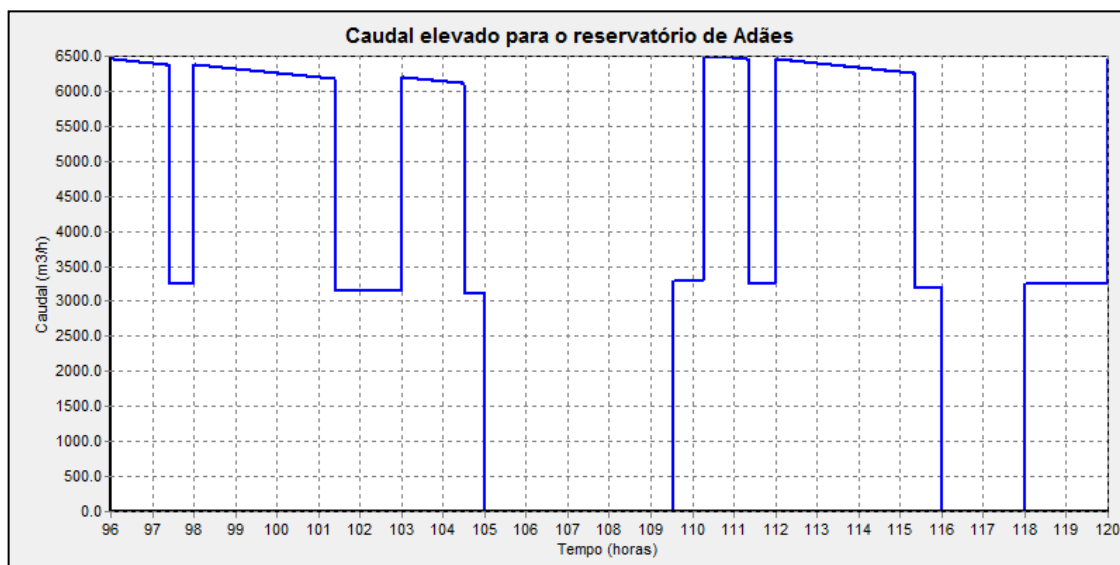


Figura 41 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.

Nesta figura esta patente que os tempos de bombagem e o número de bombas são um pouco mais reduzidos que os evidenciados na simulação feita a um reservatório com 10000 m³.

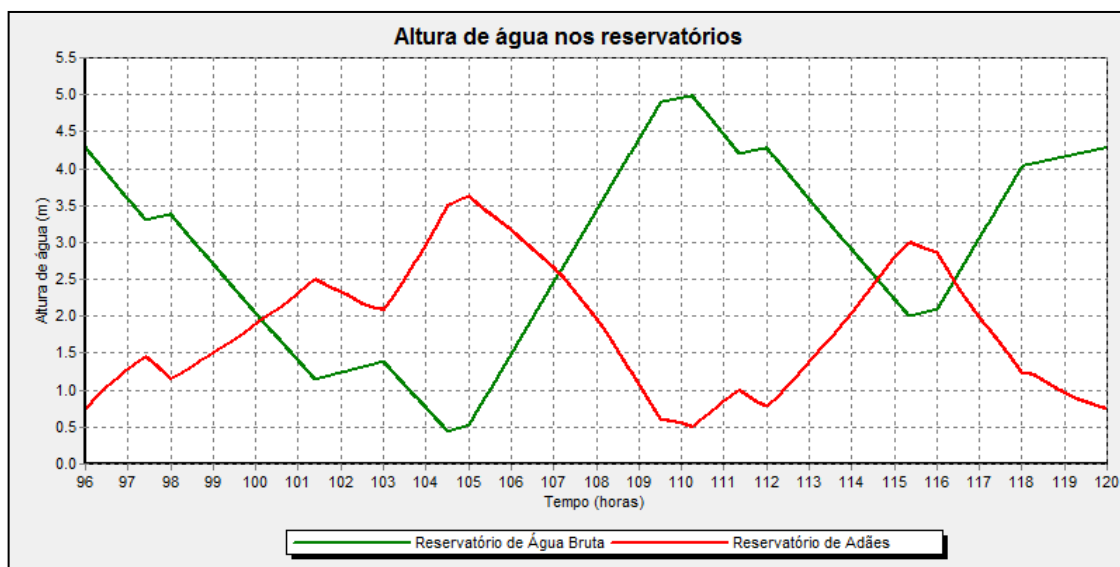


Figura 42 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.

Aqui está mostrado a maior capacidade de armazenamento nos períodos com valor de tarifa energética mais cara que permitem uma maior gestão do funcionamento das bombas.

Tabela 13 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.

Bombas	Percentagem de utilização (%)	Eficiência Média (%)	kWh/m ³	Potência média (kW)	Potência Máxima (kW)	Custo /dia (€/dia)
B1	44,72	87,42	0,66	1307,5	1333,5	911,8
B2	72,82	87,87	0,47	1317,4	1336,9	1532,6
B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Total (€/dia)	2444,4					

Esta tabela mostra um menor custo de bombagem, 2444,4 €/dia que a situação de referência

- Para a situação de referência, ou seja, um reservatório com a **capacidade de 5000 m³, no mês de maio e para os domingos:**

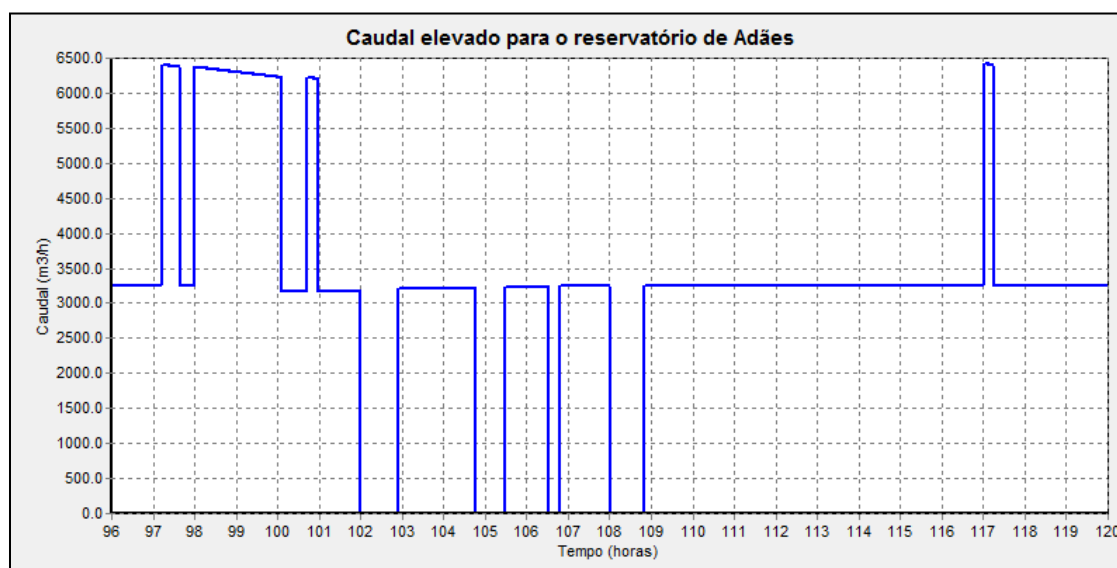


Figura 43 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.

O gráfico apresentado mostra um maior volume levado durante a madrugada, 00:00 h até às 06:00 h, visto que é o período de tarifa mais reduzida, de forma a conseguir os níveis de água o mais elevados possível.

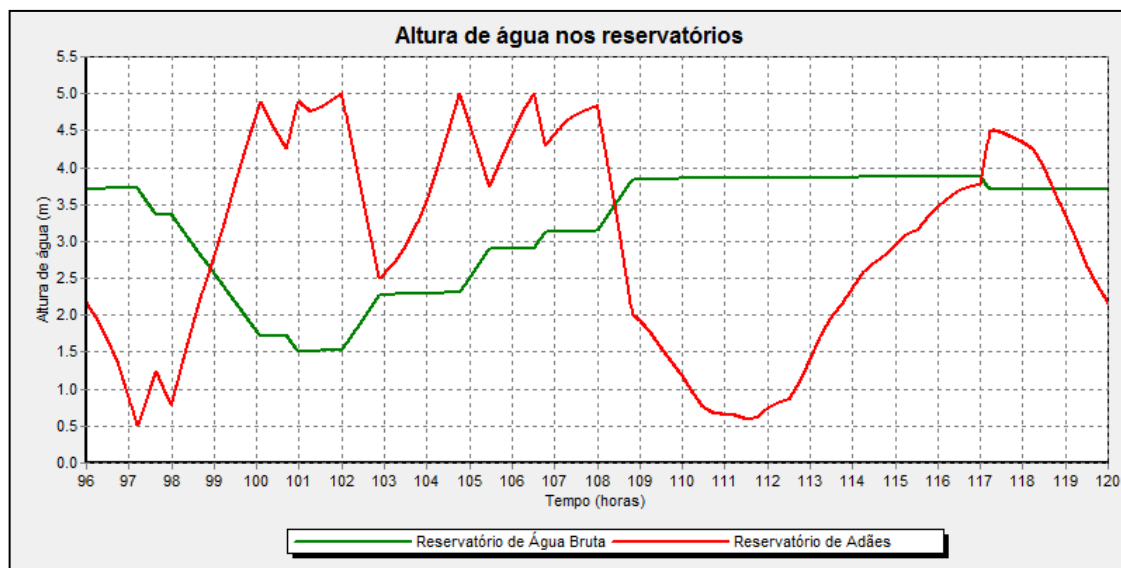


Figura 44 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.

Esta figura comprova o que foi concluído da figura seguinte, onde se tenta elevar o mais possível durante os períodos com menor preço de tarifa energética.

Tabela 14 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.

Bombas	Percentagem de utilização (%)	Eficiência Média (%)	kWh/m ³	Potência média (kW)	Potência Máxima (kW)	Custo /dia (€/dia)
B1	13,03	86,85	0,89	1298,8	1328,5	244,5
B2	88,85	87,82	0,49	1323,7	1333,2	1875,0
B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Total (€/dia)						2119,6

Como mostra a Tabela 14, o custo de bombagem é de 2119,6 €/dia. Desta tabela pode-se retirar a informação que uma das bombas apenas trabalhará 13% do dia.

- Para um reservatório com a **capacidade de 10000 m³**, no mês de maio e para os **domingos**:

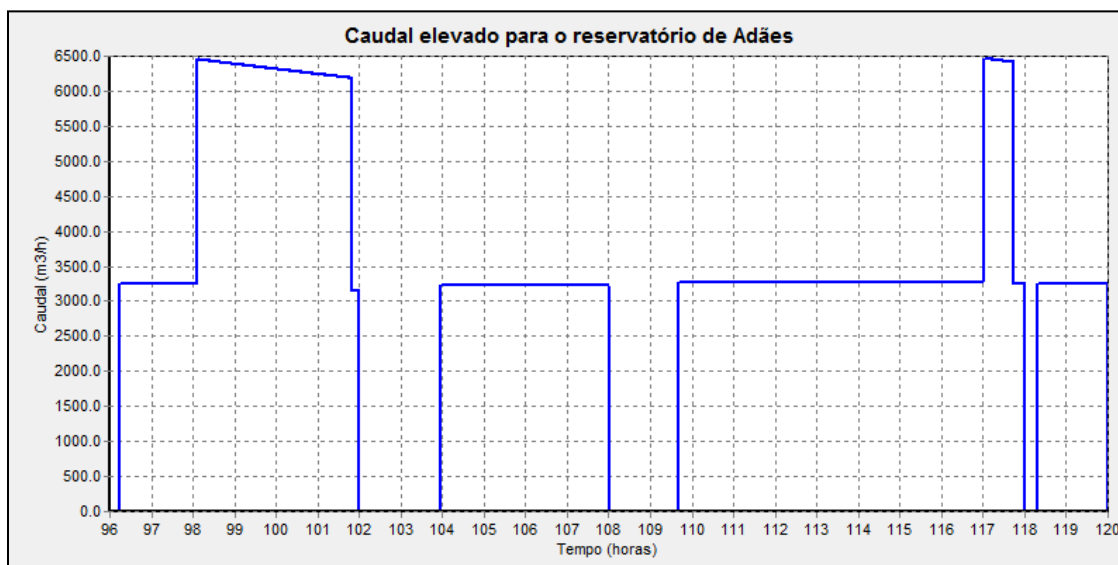


Figura 45 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.

Como evidenciado neste gráfico, o tempo de bombagem e o número de bombas a utilizar foi reduzido.

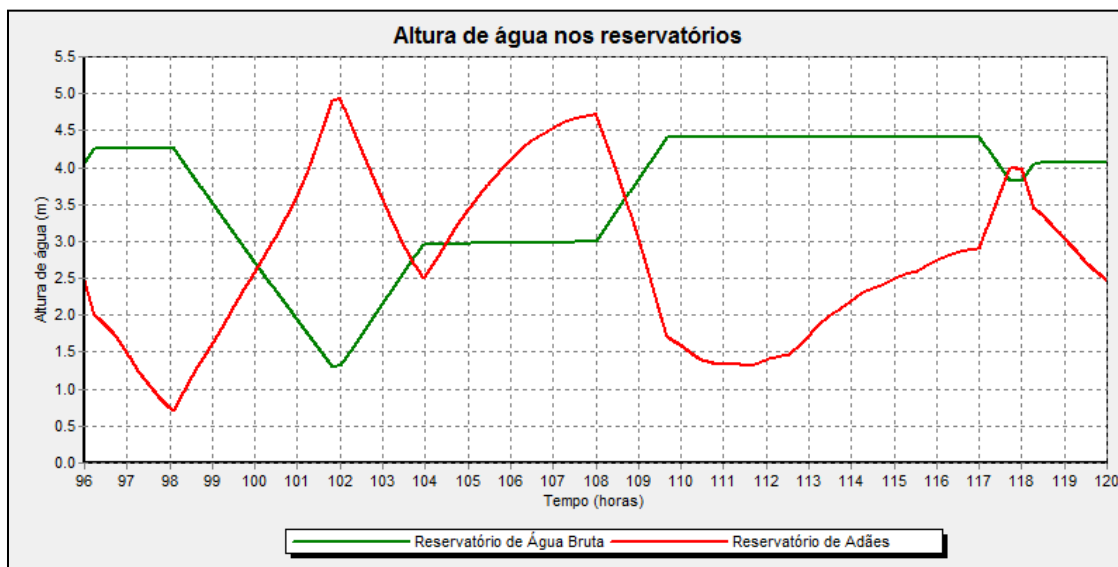


Figura 46 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.

A análise desta figura mostra que se consegue alturas de água superiores por maiores intervalos de tempo, com menores tempos de bombagem.

Tabela 15 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.

Bombas	Percentagem de utilização (%)	Eficiência Média (%)	kWh/m ³	Potência média (kW)	Potência Máxima (kW)	Custo /dia (€/dia)
B1	18,53	87,55	0,60	1311,95	1332,3	346,6
B2	82,65	87,81	0,48	1324,99	1332,5	1742,13
B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Total (€/dia)	2088,7					

A Tabela 15 dá a conhecer o custo de bombagem de 2088,7 €/dia.

- Para um reservatório com a **capacidade de 20000 m³**, no mês de maio e para os **domingos**:

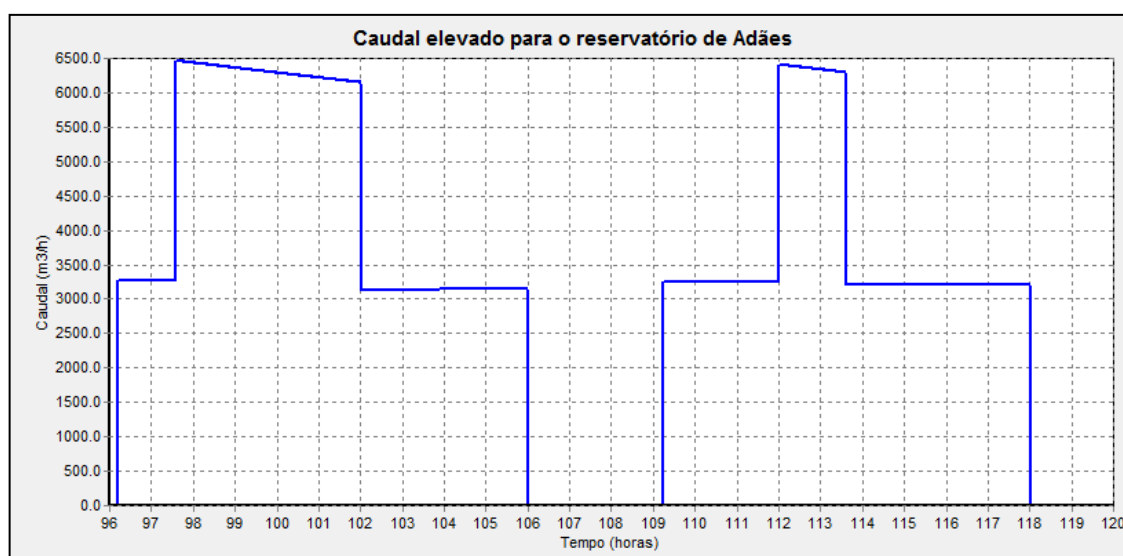


Figura 47 - Caudal elevado para o reservatório de Adães.

A conclusão que se retira deste gráfico é que com uma maior capacidade de armazenamento é necessário menos bombagens e tempos de elevação para suplantar o padrão de consumo deste dia.

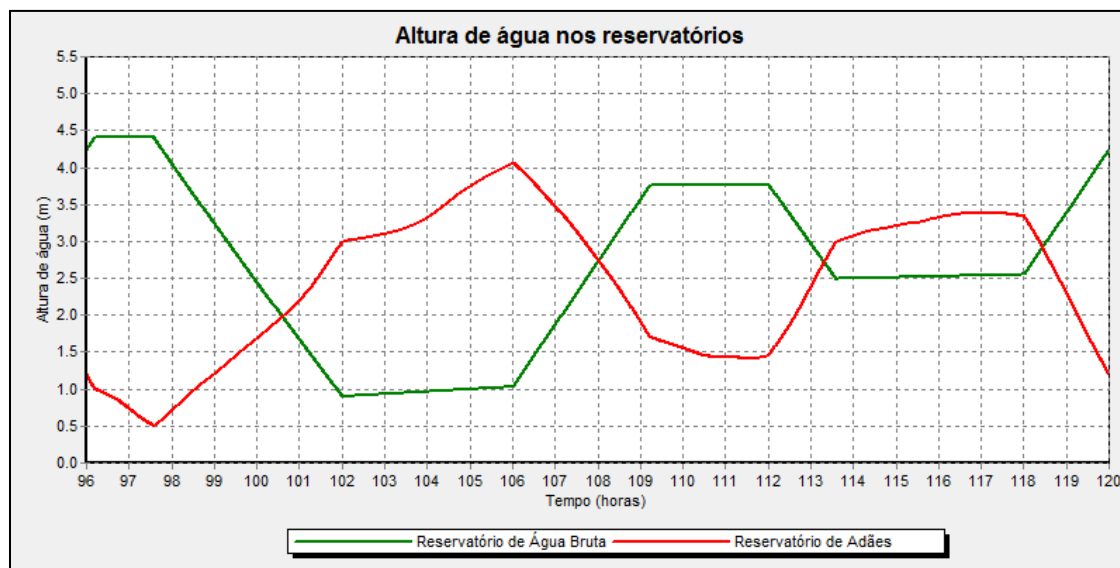


Figura 48 - Alturas de água nos Reservatórios do Adães e de Água Bruta.

Esta figura mostra que as alturas de água dos reservatórios são mantêm-se intermédias.

Tabela 16 - Relatório de energia fornecido pelo EPANET.

Bombas	Percentagem de utilização (%)	Eficiência Média (%)	kWh/m ³	Potência média (kW)	Potência Máxima (kW)	Custo /dia (€/dia)
B1	24,78	87,64	0,56	1310,6	1332,2	476,8
B2	75,63	87,87	0,47	1318,8	1331,8	1581,5
B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Total (€/dia)						2058,2

A tabela anterior comprova que a melhor gestão na bombagem que o reservatório de capacidade inferior oferece, leva a custos inferiores. Assim, o custo de bombagem é de 2058,2 €/dia.

Para os meses restantes foi seguida a mesma metodologia. Visto isto, as tabelas seguintes resumem todo este estudo com os valores obtidos nos relatórios de energia do EPANET para as três capacidades em estudo, para os diferentes dias da semana, dos meses junho, outubro e novembro.

Tabela 17 – Resumo dos relatórios de energia obtidos do EPANET para as diferentes capacidades e dias da semana, do mês de junho.

		Bombas	Percentagem de utilização (%)	kWh/m ³	Custo /dia (€/dia)
5000 m ³	junho Dias Úteis	B1	21,14	1,02	441,4
		B2	85,64	0,45	2180,3
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2621,7
	junho Sábados	B1	37,39	0,63	755,8
		B2	81,95	0,54	1809,1
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2564,9
	junho Domingos	B1	13,26	0,71	241
		B2	90,64	0,47	1915,75
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2156,9
10000 m ³	junho Dias Úteis	B1	30,40	0,68	662,4
		B2	77,04	0,49	1931,6
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2593,9
	junho Sábados	B1	44,28	0,60	898,6
		B2	76,26	0,46	1636,7
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2535,4
	junho Domingos	B1	31,00	0,57	612,2
		B2	73,40	0,51	1529,9
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2142,2
20000 m ³	junho Dias Úteis	B1	32,18	0,60	708,1
		B2	75,79	0,50	1888,9
		B3	0,00	0,00	0,00

	junho Sábados	Custo Total (€/dia)			2597,0
		B1	46,01	0,67	946,1
		B2	74,39	0,46	1583,4
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2529,4
	junho Domingos	B1	22,32	0,60	425,3
		B2	82,67	0,46	1734,1
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2159,5

Analisando os dados das tabelas anteriores e comparando com a situação de referência, conclui-se que o aumento da capacidade do reservatório, de um modo geral, faz com que seja possível regularizar a operação dos grupos de bombagem de modo a que nos períodos de maior energia o reservatório esteja com a sua capacidade máxima. Existem algumas exceções, como o caso da capacidade de 20000 m³, que apesar de conseguir armazenar mais água e, em teoria, ser capaz de uma otimização mais eficaz, é condicionado pelas alturas de água no reservatório de nível fixo.

Tabela 18 – Resumo dos relatórios de energia obtidos do EPANET para as diferentes capacidades e dias da semana, do mês de outubro.

		Bombas	Percentagem de utilização (%)	kWh/m³	Custo /dia (€/dia)
5000 m³	outubro Dias Úteis	B1	17,24	1,05	386,0
		B2	77,43	0,45	1961,1
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2347,1
	outubro Sábados	B1	23,83	0,88	537,67
		B2	81,29	0,47	1805,2
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2342,9
	outubro Domingos	B1	9,11	0,99	164,4
		B2	84,57	0,51	1332,6
		B3	0,00	0,00	0,00

		Custo Total (€/dia)			1952,6
10000 m³	outubro Dias Úteis	B1	25,94	0,58	1330,1
		B2	70,13	0,49	1331,24
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2317,2
	outubro Sábados	B1	34,75	0,69	707,1
		B2	74,66	0,45	1581,7
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2288,8
	outubro Domingos	B1	12,19	0,83	219,7
		B2	82,14	0,45	1732,5
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			1952,2
20000 m³	outubro Dias Úteis	B1	34,11	0,65	791,3
		B2	62,15	0,48	1504,7
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2295,9
	outubro Sábados	B1	47,30	2,88	903,2
		B2	61,72	2,25	1207,6
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2110,8
	outubro Domingos	B1	19,29	0,61	362,6
		B2	75,87	0,46	1589,7
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			1952,3

Para o mês de outubro, a Tabela 18 mostra que os custos por dia da bombagem vão também diminuindo com o aumento da capacidade. Para o domingo, os valores dos custos não sofrem alterações significativas apesar da maior capacidade dos reservatórios quando comparados com a situação de referência.

Tabela 19 – Resumo dos relatórios de energia obtidos do EPANET para as diferentes capacidades e dias da semana, do mês de novembro.

		Bombas	Percentagem de utilização (%)	kWh/m³	Custo /dia (€/dia)
5000 m³	novembro Dias Úteis	B1	18,15	1,01	400,3
		B2	73,97	0,52	1859,4
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2259,7
	novembro Sábados	B1	22,79	1,05	456,1
		B2	78,94	0,49	1762,1
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2218,2
	novembro Domingos	B1	12,46	0,99	241,7
		B2	81,53	0,54	1724,0
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			1965,7
10000 m³	novembro Dias Úteis	B1	24,86	0,66	540,7
		B2	68,46	0,50	1692,2
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2232,8
	novembro Sábados	B1	31,65	0,76	642,6
		B2	70,93	0,44	1523,3
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2165,9
	novembro Domingos	B1	13,25	0,87	245,38
		B2	80,97	0,48	1706,2
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			1952,6
20000 m³	novembro Dias Úteis	B1	32,63	0,68	753,6
		B2	61,03	0,53	1484,1
		B3	0,00	0,00	0,00

	novembro Sábados	Custo Total (€/dia)			2237,7
		B1	44,54	0,60	910,9
		B2	59,28	0,46	1225,4
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			2136,3
	novembro Domingos	B1	25,42	0,61	489,8
		B2	70,14	0,50	1461,5
		B3	0,00	0,00	0,00
		Custo Total (€/dia)			1951,4

As conclusões obtidas pela observação da tabela anterior são análogas às apuradas nos outros meses, à medida que se aumenta a capacidade dos reservatórios, os critérios operacionais permitem uma diminuição dos custos por dia com a elevação dos volumes de água para o reservatório de Adães.

8.2.3 Análise económica

Depois de apurados os valores da otimização da operação dos grupos elevatórios, resta saber qual a poupança obtida e qual seria o impacto a nível económico da construção dos reservatórios com as ditas capacidades.

Numa primeira análise, calculou-se a diferença de custo (poupança) relacionada com o aumento na dimensão dos reservatórios comparativamente à situação de referência, $\Delta C/\text{dia}$, em euros por dia. Para isso, assumiu-se que o custo apurado para um dia útil, para o sábado e para o domingo, com o EPANET, eram representativos desses dias ao longo de um mês. Com estes resultados, apurou-se o valor médio mensal da poupança, €/dia.

A tabela seguinte evidencia os valores encontrados pelo processo descrito anteriormente.

Tabela 20 – Poupança diária e média mensal relacionada com o aumento da capacidade do reservatório quando comparados os custos entre as novas capacidades e a situação de referência.

		Reservatório com 10000 m³	Reservatório com 20000 m³
		ΔC/dia (€/dia)	ΔC/dia (€/dia)
outubro	Dias Úteis	30,0	51,0
	Sábado	53,4	231,4
	Domingo	0,4	0,3
	Poupança média mensal (€/dia)	29,2	67,7
novembro	Dias Úteis	26,9	22,0
	Sábado	52,3	81,9
	Domingo	13,1	14,3
	Poupança média mensal (€/dia)	29,3	31,0
maio	Dias Úteis	74,8	7,9
	Sábado	54,5	76,5
	Domingo	30,9	61,4
	Poupança média mensal (€/dia)	65,9	25,9
junho	Dias Úteis	27,8	24,7
	Sábado	28,9	35,1
	Domingo	14,7	-2,6
	Poupança média mensal (€/dia)	25,8	21,5

De notar da tabela anterior que, no mês de outubro, para o sábado, com um reservatório de 20000 m³, apurou-se uma poupança de 231,4 €/dia, revelando que para este dia em concreto esta capacidade beneficiaria, em termos económicos, a empresa pois permitiria uma melhor otimização dos tempos de funcionamento dos grupos de bombagem. Por outro lado, em junho, para o domingo, a capacidade de 20000 m³ não é a ajustada, visto que para estabelecer os critérios operacionais de modo a atingir a otimização, os níveis do reservatório

de água tratada atingem níveis muito baixos o que leva a constantes arranques e paragens das bombas hidráulicas e ao consequente aumento do gasto energético.

Posto isto, assumiu-se que os meses em questão eram representativos do ano ou seja, maio era representativo de abril e setembro, junho era representativo de julho e agosto, outubro era representativo de março e novembro era representativo de dezembro, janeiro e fevereiro. Assim, procedeu-se ao cálculo das poupanças médias anuais, em €/dia, traduzidas na Tabela 21.

Tabela 21 - Poupança média anual, em €/dia, com o aumento da capacidade do reservatório.

Capacidade do Reservatório (m ³)	Poupança média anual (€/dia)
10000	37,2
20000	48,3

Com estes valores é possível estimar qual o período de retorno do investimento feito na construção dos reservatórios com as capacidades de 10000 m³ e 20000 m³, para um período de 50 anos que corresponde ao tempo de vida do reservatório. Para isso torna-se necessário saber qual o valor desse investimento. Para isso, existe uma fórmula de cálculo utilizada para o estimar, sendo ela (Marques, et al.):

$$C = 4500 \times V^{0,6} \quad (14)$$

C – Custo estimado do reservatório, em euros

V – Capacidade a atribuir ao reservatório, em m³

Desta forma, o custo estimado para a construção dos dois reservatórios seria:

Tabela 22 - Custos estimados do investimento na construção dos reservatórios de 10000 m³ e 20000 m³.

Capacidade do Reservatório (m ³)	Custo Estimado (€)
10000	1.130.349
20000	1.713.289

Com todas as variáveis definidas resta apenas encontrar o período de retorno do investimento. Para isso, considerou-se ainda que o ano “atual” é o 2015 e o ano de início da

exploração é o 2018, estimou-se que a taxa de atualização do custo da energia e a taxa de atualização do capital são de, 2,5% e 1,5%, respetivamente.

Na tabela seguinte identifica-se então quanto tempo é necessário para que o investimento esteja amortizado. As fórmulas de cálculo usadas para o valor futuro do dinheiro e a atualização de capitais são:

$$V_j = V_i(1 + t)^{j-i} \quad (15)$$

$$V_i = \frac{V_j}{(1 + t)^{j-i}} \quad (16)$$

V_j – Valor futuro do dinheiro, em euros

V_i – Valor atual do dinheiro, em euros

t – taxa de atualização

Tabela 23 - Período de amortização do investimento no reservatório de capacidade de 10000 m³.

Capacidade do reservatório de 10000 m³					
Poupança Anual					
Período de amortização	Ano de Exploração	Constante	Futuro	Atualizada	Acumulado
1	2018	13.578,00 €	14.622,00 €	13.983,00 €	13.983,00 €
50	2067	13.578,00 €	49.032,00 €	22.607,00 €	897.912,00 €

Tabela 24 - Período de amortização do investimento no reservatório de capacidade de 20000 m³.

Capacidade do reservatório de 20000 m³					
Poupança Anual					
Período de amortização	Ano de Exploração	Constante	Futuro	Atualizada	Acumulado
1	2018	17.629,50 €	18.985,00 €	18.156,00 €	18.156,00 €
50	2067	17.629,50 €	63.662,00 €	29.353,00 €	1.165.839,00 €

A poupança gerada pelos critérios operacionais e pelo aumento da capacidade do reservatório, no caso do reservatório de 10000 m³, amortizaria cerca de 79% do investimento e no caso do reservatório de 20000 m³, amortizaria cerca de 68%.

9 CONCLUSÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam que o algoritmo utilizado para auxílio na definição dos critérios operacionais é uma ferramenta viável e de fácil aplicação na gestão de sistemas adutores, no setor do abastecimento de água. Esses resultados são os esperados embora esta otimização pudesse ser melhorada com a introdução dos fatores consumo ajustados às variações da tarifa elétrica de modo a torna-la ainda mais precisa.

Quanto à simulação hidráulica usando o EPANET, esta revelou-se muito útil e os resultados aproximaram-se dos obtidos no algoritmo. Contudo, graças à política operacional de otimização imposta a jusante na estação elevatória em estudo, os consumos de água do reservatório já ocorrem fora das horas onde a tarifa elétrica é mais elevada logo, os resultados obtidos não são muito significativos.

Para os dois aumentos de capacidade do reservatório, conseguiu-se poupanças médias anuais de energia elétrica de 37,2 €/dia e 48,3 €/dia, para a capacidade de 10000 m³ e para a capacidade de 20000 m³, respetivamente. Com esta poupança, cerca de 79% do valor investido no “upgrade” do reservatório para 10000 m³, seria reavido ao fim de 50 anos e cerca de 68% do investimento num reservatório de 20000 m³. A ilação tirada deste estudo revela que existe alguma poupança com os critérios operacionais definidos e o aumento da capacidade do reservatório mas, fruto da política operacional praticada a jusante desta estação elevatória traduzida no posicionamento dos consumos de água mais elevados fora das horas de maior tarifário energético, esta otimização não causa um grande benefício económico para a empresa.

Para trabalhos futuros, a sugestão passa pela inclusão a este estudo do parâmetro da qualidade da água, uma vez que este varia com o aumento da capacidade dos reservatórios, e o desenvolvimento de algoritmos otimizadores capazes de monitorizar a rede em tempo real e que consigam programar os critérios operacionais das bombas para encontrar a melhor política operacional, conforme os dados recolhidos.

Por fim, cada sistema deve ser encarado como caso único e o seu estudo deve, preferencialmente ser abordado por entidades internas, visto estas possuírem o “know-how” de toda a rede.

BIBLIOGRAFIA

- Águas do Noroeste S.A. 2015.** Águas do Noroeste. [Online] Águas do Noroeste S.A., 2015. [Citação: 14 de Março de 2015.] <http://www.adnoroeste.pt>.
- . **2010.** *Relatório de Sustentabilidade 2010*. 2010.
- Águas do Norte S.A. 2015.** Águas do Norte. [Online] Águas do Norte S.A., 2015. [Citação: 28 de Julho de 2015.] <http://www.adnorte.pt>.
- Águas do Porto S.A. 1993.** *Decreto-Lei n.º 379/93 de 5 de Novembro*. 1993.
- Almeida, Pedro Luís Campos de. 2010.** *Optimização da Operação de uma Estação Elevatória. Minimização do Custo da Energia Respeitando Critérios de Qualidade da Água*. s.l. : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010. Dissertação de Mestrado.
- APA, Agência Portuguesa do Ambiente -, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e S.A., Águas de Portugal. 2015.** *PENSAAR 2020 - Uma nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais*. 2015.
- CE-IET, Comissão Europeia - Instituto para Energia e Transporte. 2011.** *Águas do Noroeste, SA – European Motor Challenge Award 2011*. 2011.
- . **2010.** *The European GreenLight Programme - Award Winners 2010*. 2010.
- Costa, Ana Isabel Fragoso Lopes Ventura da. 2009.** *Eficiência Económica na Operação de Estações Elevatórias de Abastecimento de Água*. s.l.: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009. Dissertação de Mestrado.
- ERSAR, Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos. 2015.** Taxa de Recursos Hídricos. [Online] 2015. [Citação: 08 de Abril de 2015.] http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?Section=Consumidores&SubFolderPath=&FolderPath=%5CRoot%5CContents%5CSitio%5CConsumidores%5CPerguntasFrequentes%5CConsumidor_Faturacao&GenericContentId=598.
- ERSAR, Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. 2009.** *PEAASAR II - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 - Relatório de Acompanhamento 2008*. 2009.
- ERSE, Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. 2014.** *Regulamento n.º 551/2014 - Regulamento Tarifário do sector elétrico*. 2014.
- Ferreira, José Vicente Rodrigues. 2004.** *Análise de Ciclo de Vida dos Produtos*. s.l. : Instituto Politécnico de Viseu, 2004.
- Ferreira, Ricardo. 2014.** *Relatório Energia - Área de Gestão de Energia*. 2014.
- Figueiredo, Manuel Maria Pacheco e Martins, Joaquim M. V. Poças. 2007.** *Minimização do Custo da Energia em Estações Elevatórias de Abastecimento de Água*. 2007.

I-SETE, Inovação Soluções Económicas e Tecnologias Ecológicas. 2011. *Auditoria Energética - ETA Areias de Vilar.* 2011.

LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil -. 2002. *Manual do utilizador do EPANET 2.0 - Simulação hidráulica e de parâmetros de qualidade em sistemas de transporte e distribuição de água.* 2002.

MAOT, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território -. 2001. *Decreto-Lei n.º 243/2001 de 5 de setembro.* 2001.

MAOTDR, Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional -. 2007. *Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto.* s.l. : Diário da República, 1.ª série — N.º 164 — 27 de Agosto de 2007, 2007.

Marques, José Alfeu Almeida de Sá e Sousa, Joaquim José de Oliveira. 2008. *Hidráulica urbana: sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais.* 2008. 978-989-26-0124-3.

Martins, Tiago José Carrilho. 2014. *Sistemas de Abastecimento de Água para Consumo Humano – Desenvolvimento e Aplicação de Ferramenta Informática para a sua Gestão Integrada.* Bragança : Instituto Politécnico de Bragança - Escola Superior Agrária, 2014. Dissertação de Mestrado.

P. Leite, F. Ferreira, L. Tentúgal-Valente, E. Vivas. 2012. *Potencial de Optimização Energética de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais.* 2012.

Pereira, Arlindo Jorge Caetano. 2009. *Análise do Custo do Ciclo de Vida da ETA de Queimadela.* s.l. : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009. Dissertação de Mestrado.

Sanina, Patrícia Maria Martins Duarte. 2010. *Metodologia para a gestão de infra-estruturas de abastecimento de água com base na avaliação de desempenho: uma abordagem integrada.* s.l. : Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2010. Tese de Doutoramento.

Sousa, Eduardo Ribeiro de e Monteiro, António Jorge. 2007. *Saneamento Ambiental I - Sistemas de Abastecimento e Distribuição de Água.* Lisboa : Instituto Superior Técnico - Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, 2007.

Vilas-Boas, Pedro Ricardo. 2008. *Modelação de uma Rede de Distribuição de Água.* s.l. : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Dissertação de Mestrado.

ANEXO A

Fatores Horários de Consumo

Os fatores horários de consumo, representados a cada 15 minutos, para a Hora Legal de verão, ou seja, os meses de maio e de junho, usados foram:

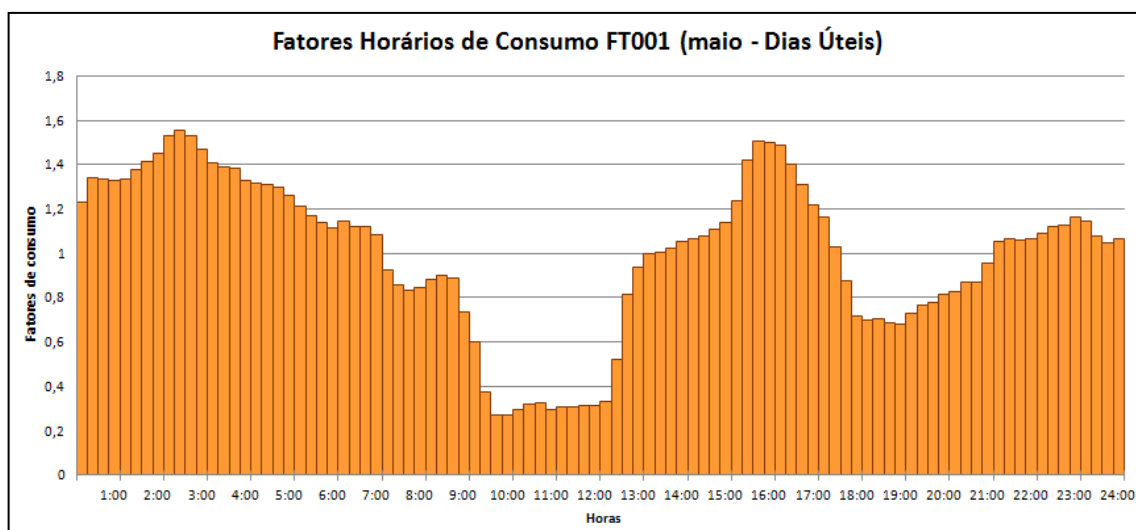


Figura A.1 - Fatores horários de consumo para o mês de maio, nos dias úteis (FT001).

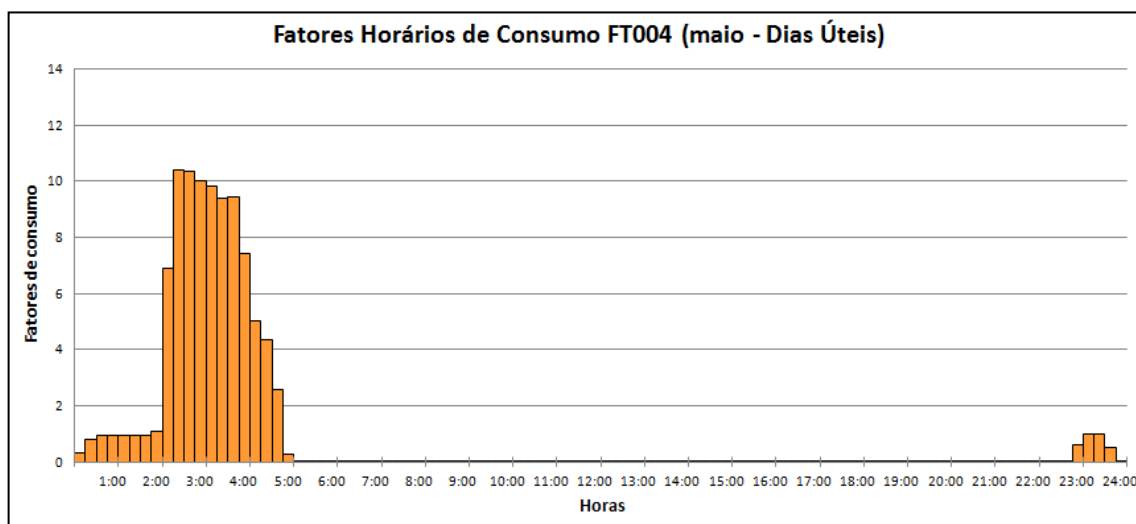


Figura A.2 - Fatores horários de consumo para o mês de maio, nos dias úteis (FT004).

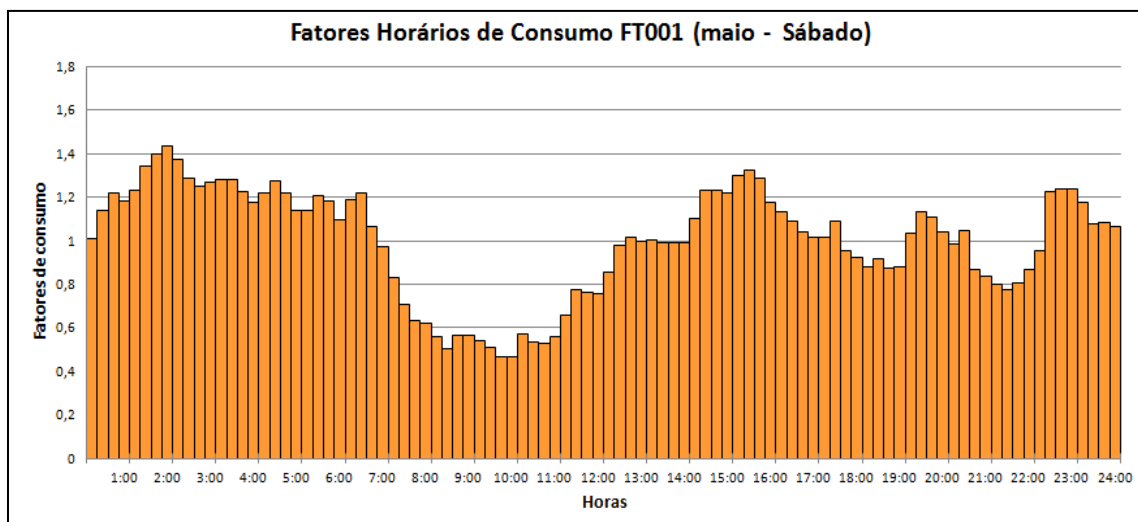


Figura A.3- Fatores horários de consumo para o mês de maio, nos sábados (FT001).

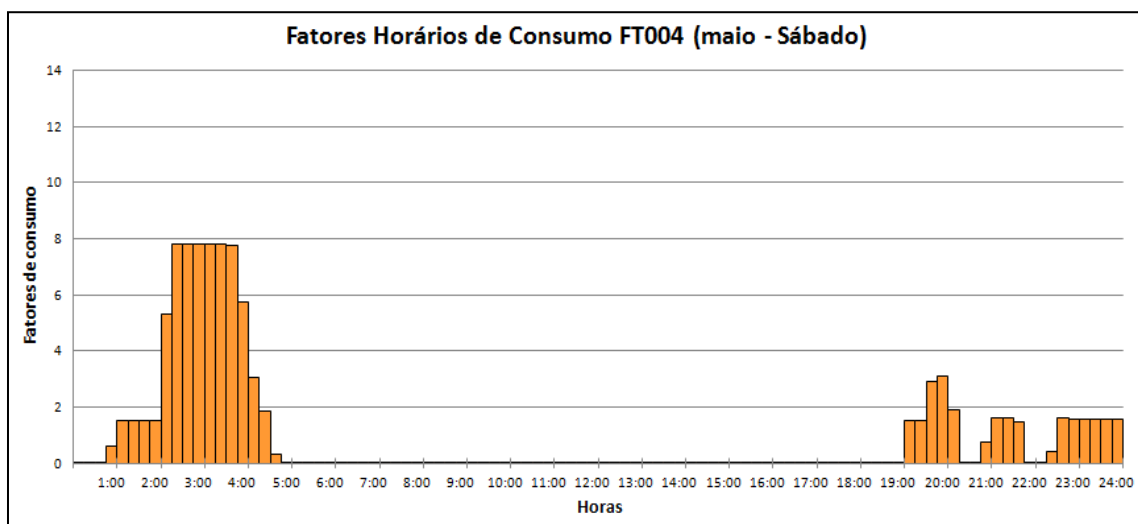


Figura A.4 - Fatores horários de consumo para o mês de maio, nos sábados (FT004).

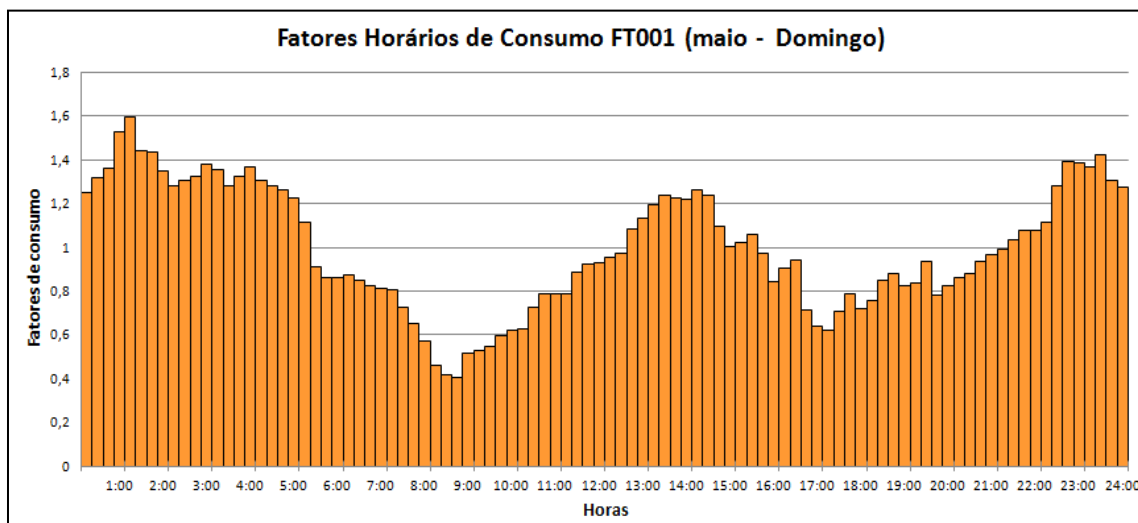


Figura A.5 - Fatores horários de consumo para o mês de maio, nos domingos (FT001).

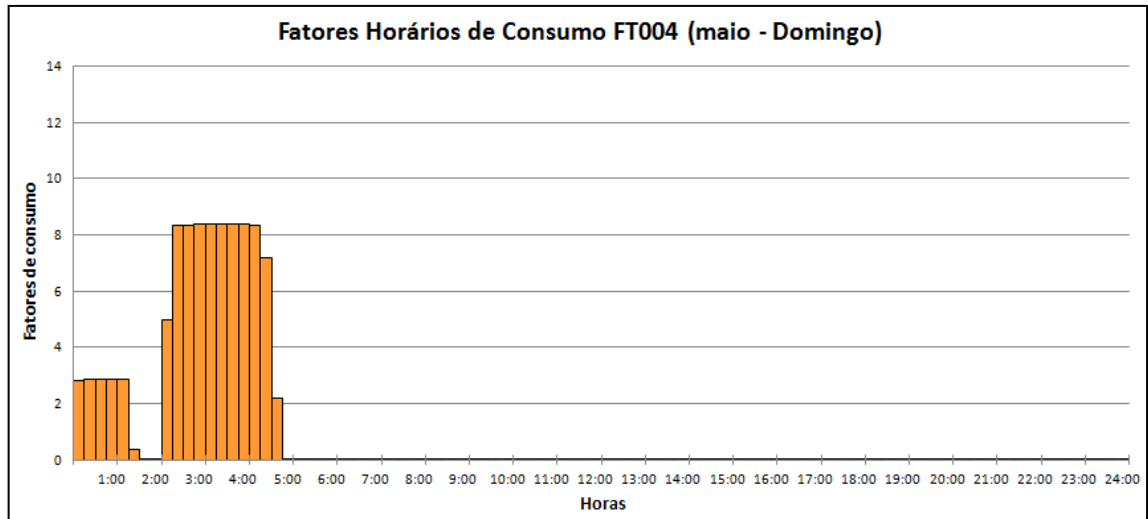


Figura A.6 - Fatores horários de consumo para o mês de maio, nos domingos (FT004).

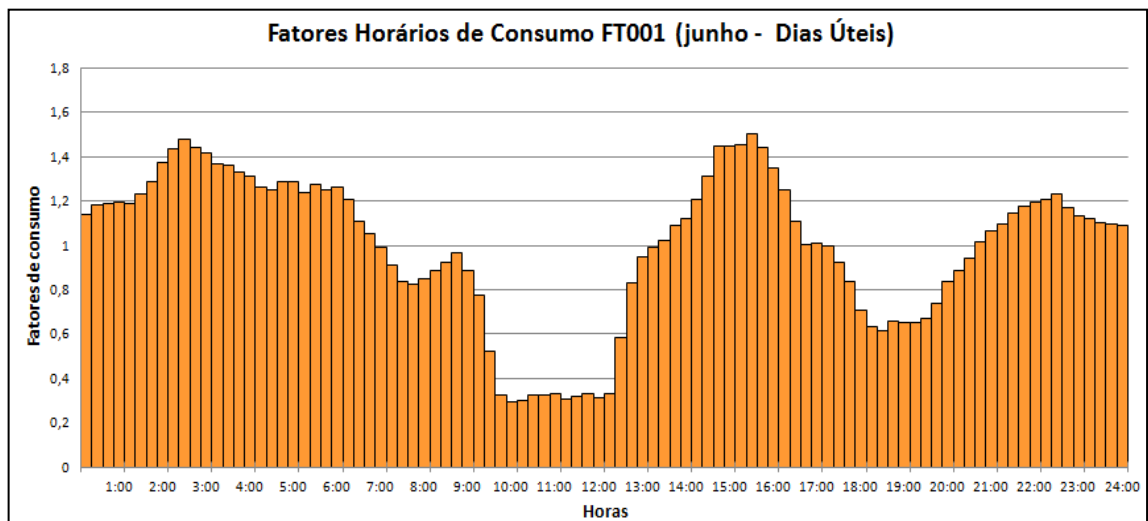


Figura A.7 - Fatores horários de consumo para o mês de junho, nos dias úteis (FT001).

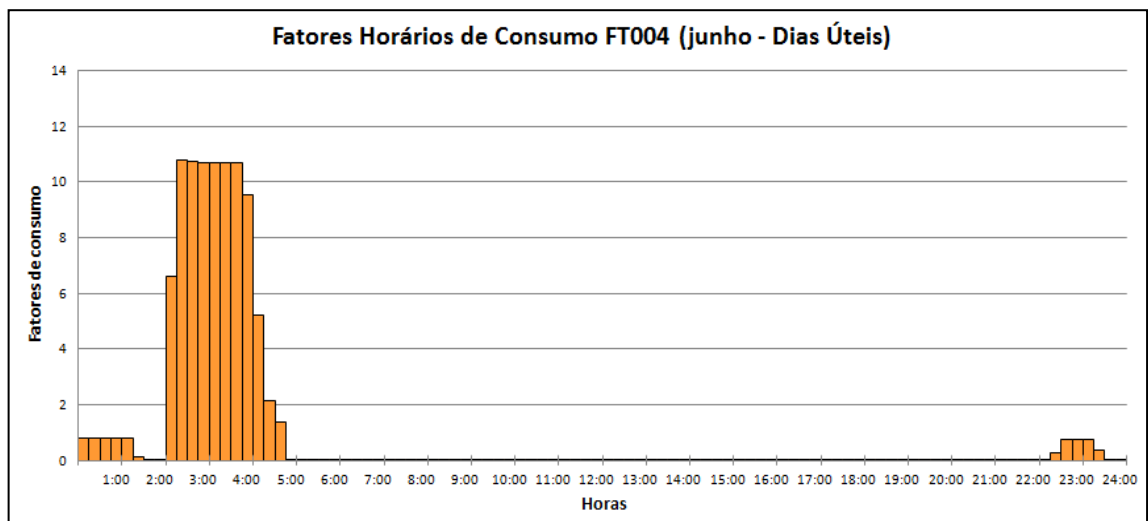


Figura A.8 - Fatores horários de consumo para o mês de junho, nos dias úteis (FT004).

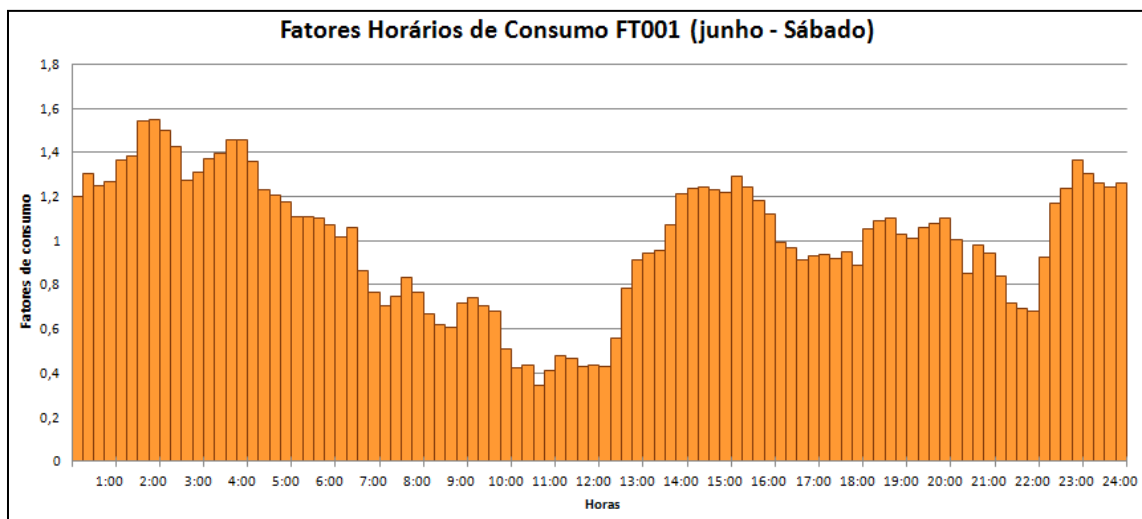


Figura A.9 - Fatores horários de consumo para o mês de junho, nos sábados (FT001).

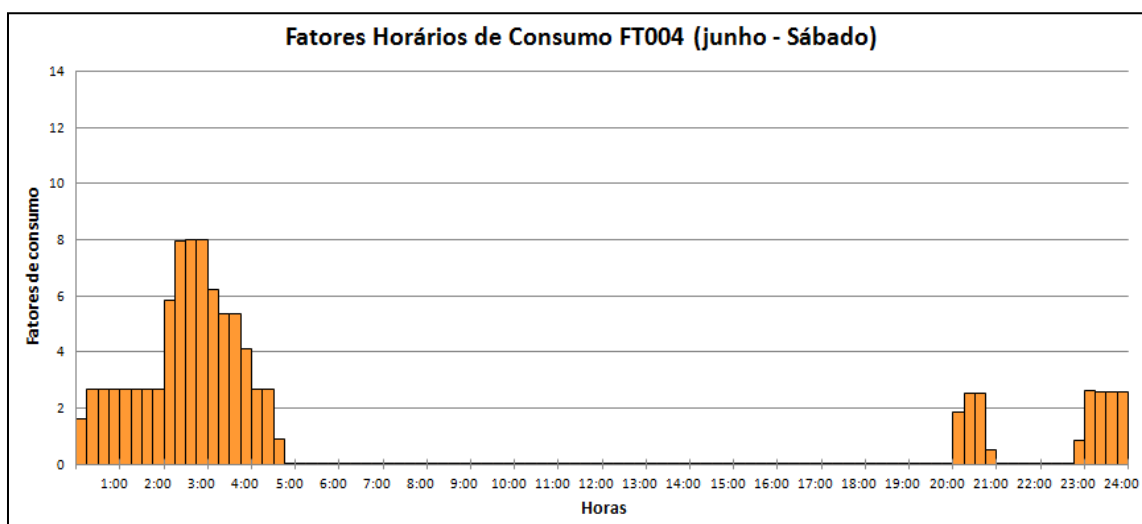


Figura A.10 - Fatores horários de consumo para o mês de junho, nos sábados (FT004).

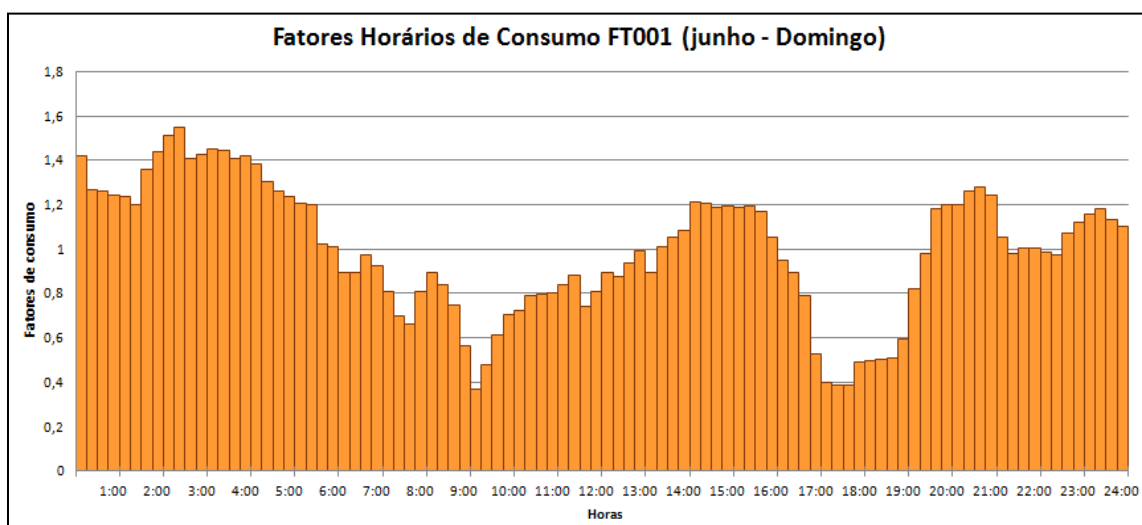


Figura A.11 - Fatores horários de consumo para o mês de junho, nos domingos (FT001).

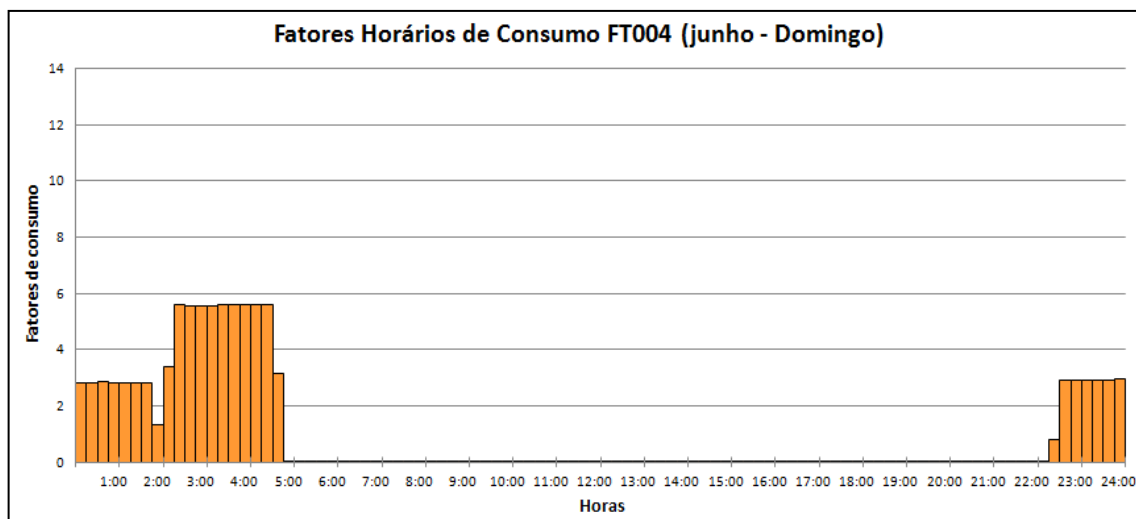


Figura A.12 - Fatores horários de consumo para o mês de junho, nos domingos (FT004).

Os fatores horários de consumo, representados a cada 15 minutos, para a Hora Legal de inverno, ou seja, os meses de outubro e de novembro, usados foram:

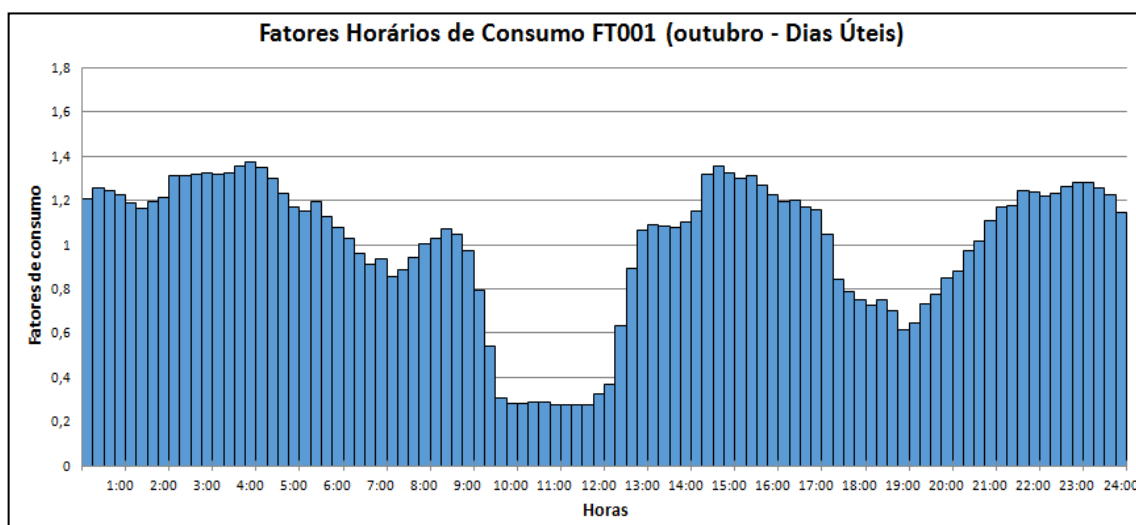


Figura A.13 - Fatores horários de consumo para o mês de outubro, nos dias úteis (FT001).

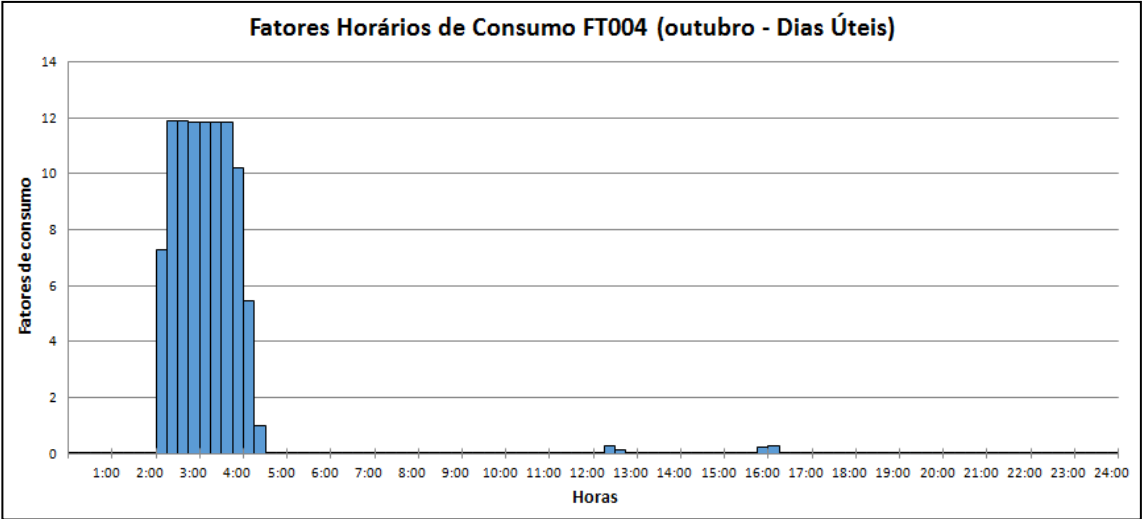


Figura A.14 - Fatores horários de consumo para o mês de outubro, nos dias úteis (FT004).

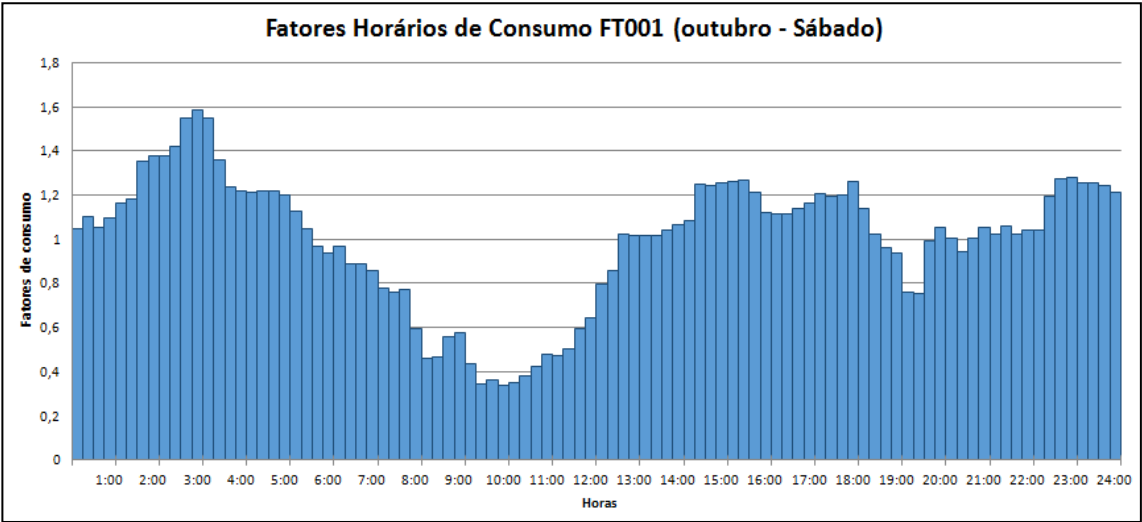


Figura A.15 - Fatores horários de consumo para o mês de outubro, nos sábados (FT001).

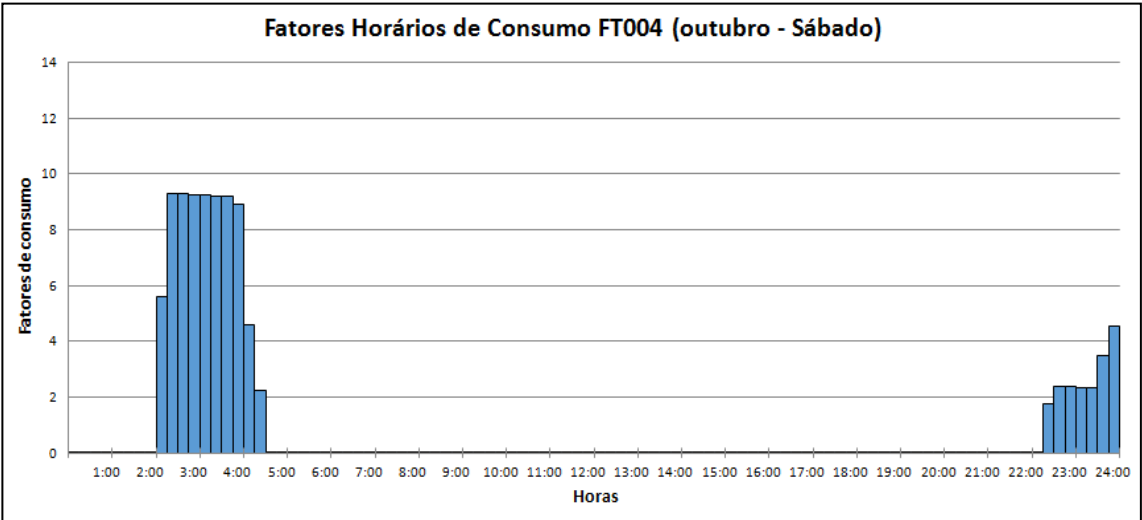


Figura A.16 - Fatores horários de consumo para o mês de outubro, nos sábados (FT004).

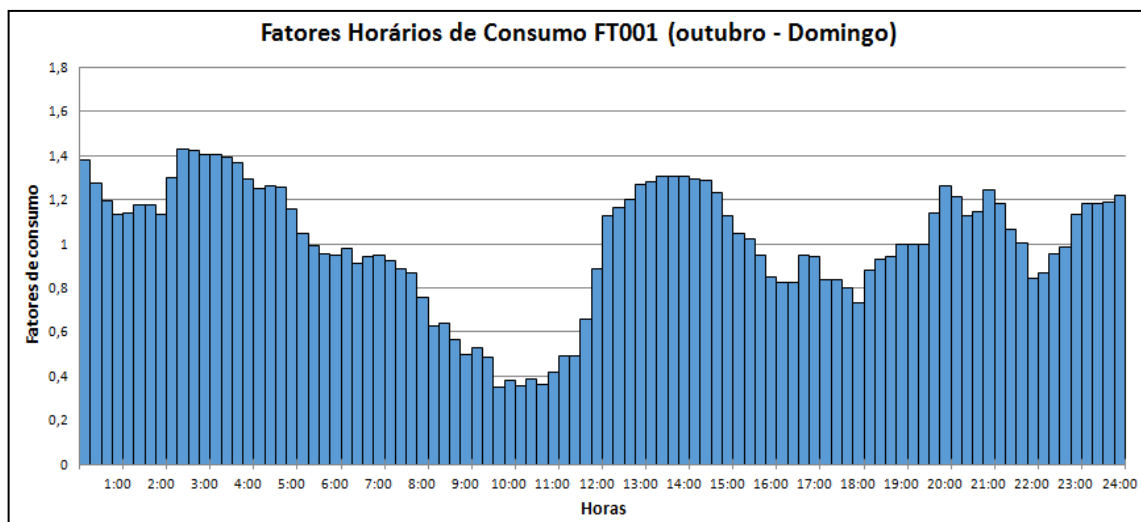


Figura A.17 - Fatores horários de consumo para o mês de outubro, nos domingos (FT001).

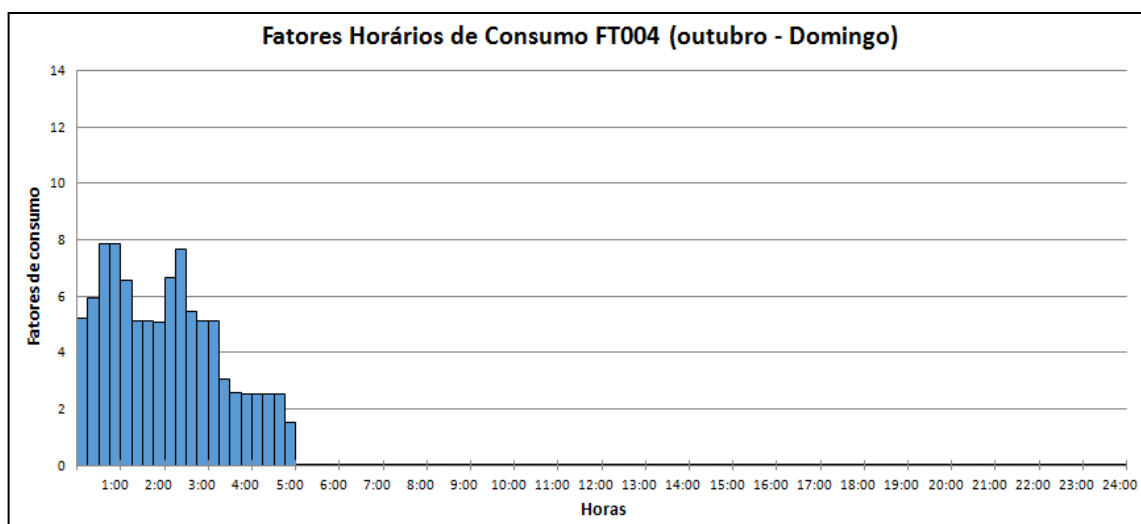


Figura A.18 - Fatores horários de consumo para o mês de outubro, nos domingos (FT004).

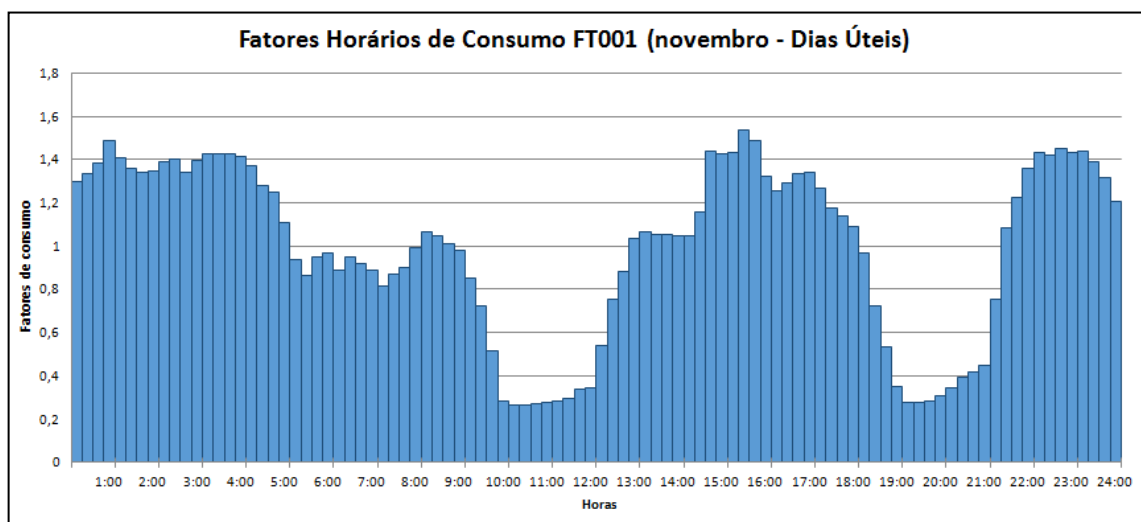


Figura A.19 - Fatores horários de consumo para o mês de novembro, nos dias úteis (FT001).

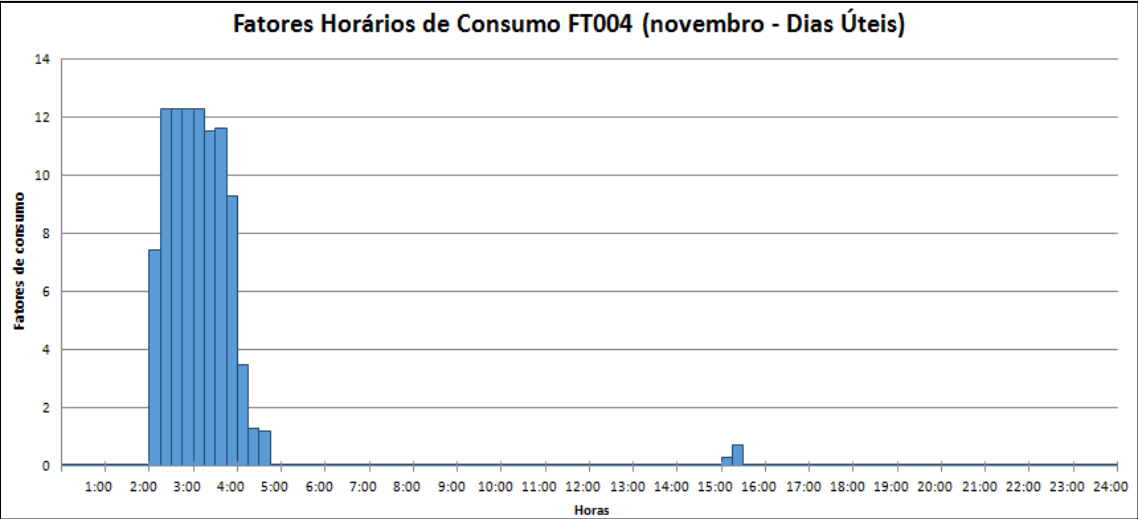


Figura A.20 - Fatores horários de consumo para o mês de novembro, nos dias úteis (FT004).

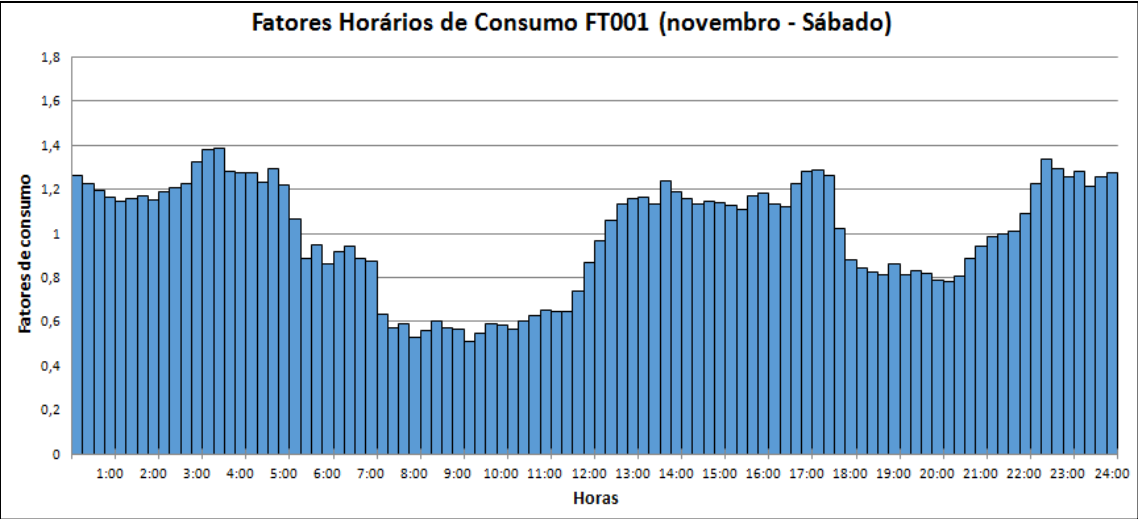


Figura A.21 - Fatores horários de consumo para o mês de novembro, nos sábados (FT001).

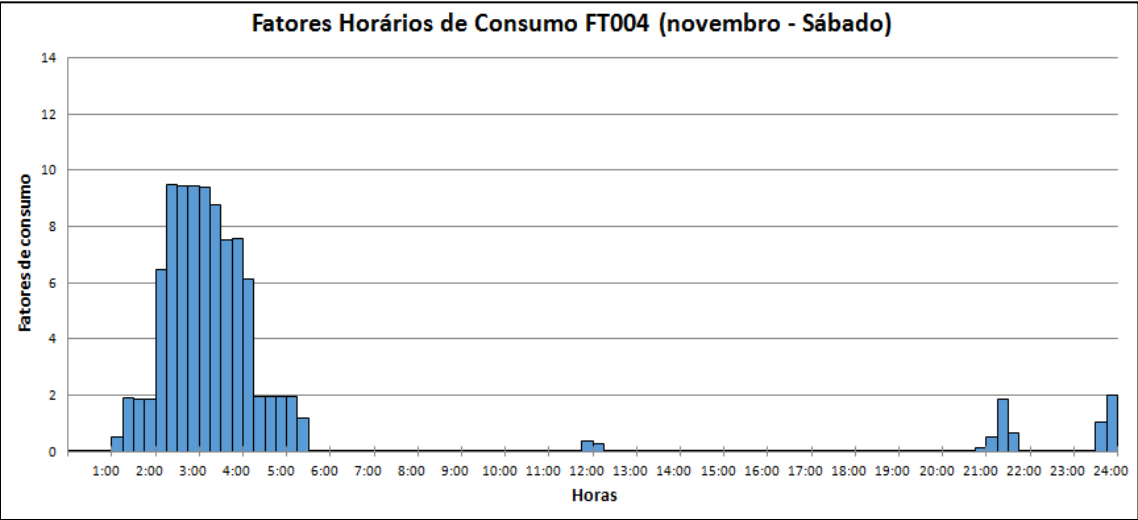


Figura A.22 - Fatores horários de consumo para o mês de novembro, nos sábados (FT004).

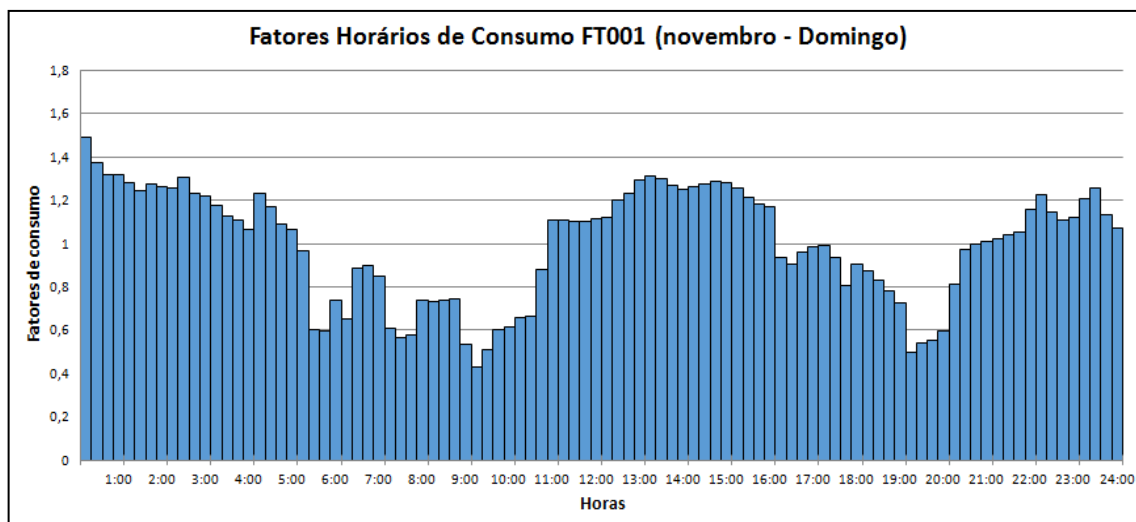


Figura A.23 - Fatores horários de consumo para o mês de novembro, nos domingos (FT001).

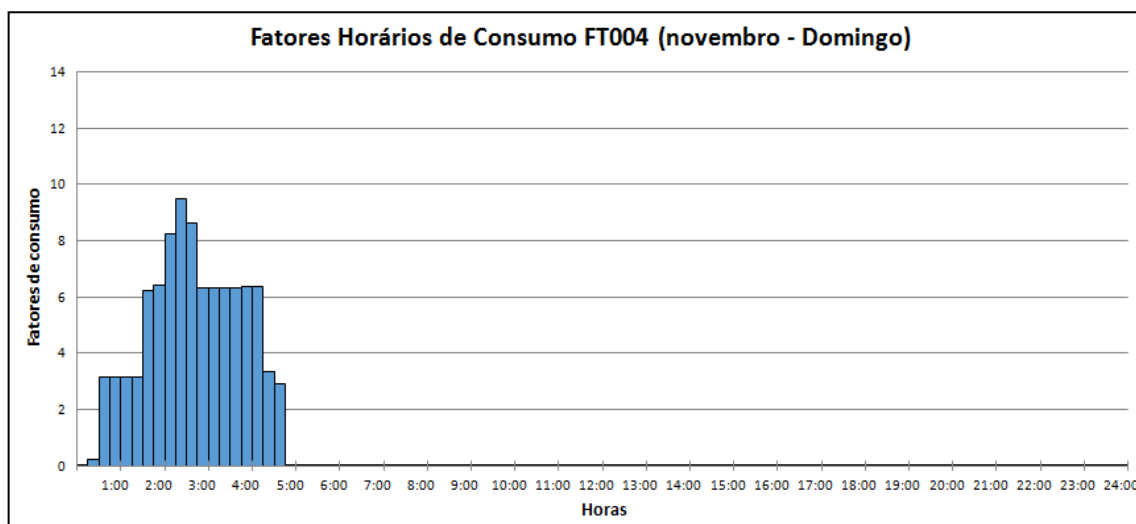


Figura A.24 - Fatores horários de consumo para o mês de novembro, nos domingos (FT004).

ANEXO B

Fatores Horários da Tarifa Elétrica

As imagens seguintes apresentam as variações a cada 15 minutos da tarifa elétrica para o período de verão e inverno, nos dias úteis, no sábado e no domingo.

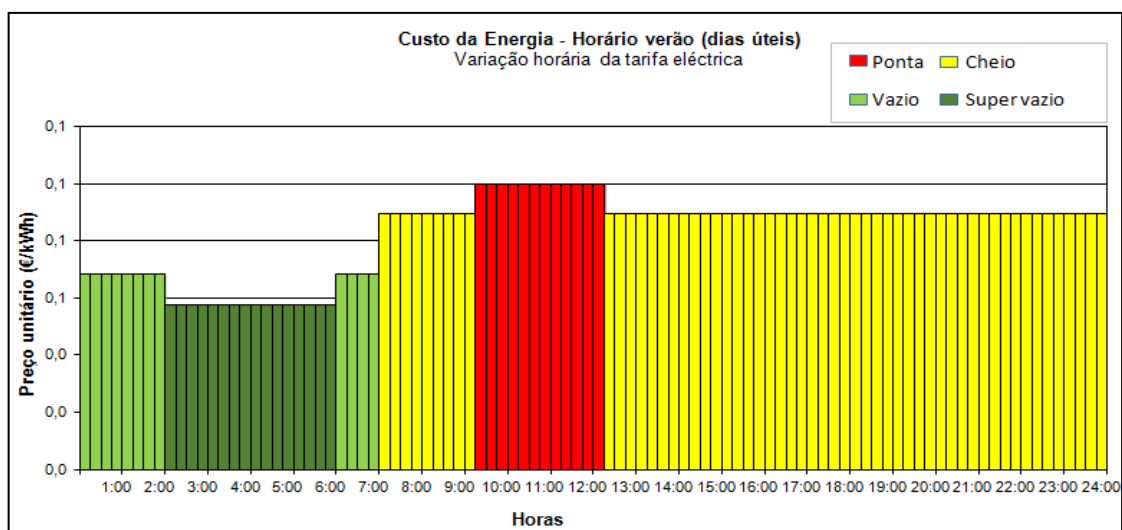


Figura B.1 - Padrão Horário da Tarifa Elétrica do período horário de verão para os dias úteis.

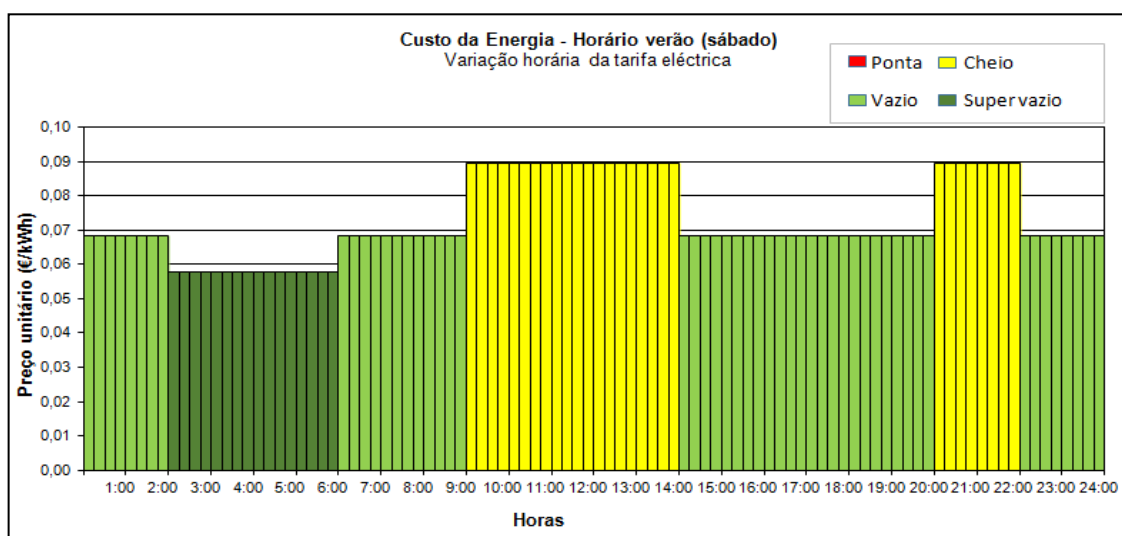


Figura B.2 - Padrão Horário da Tarifa Elétrica do período horário de verão para os sábados.

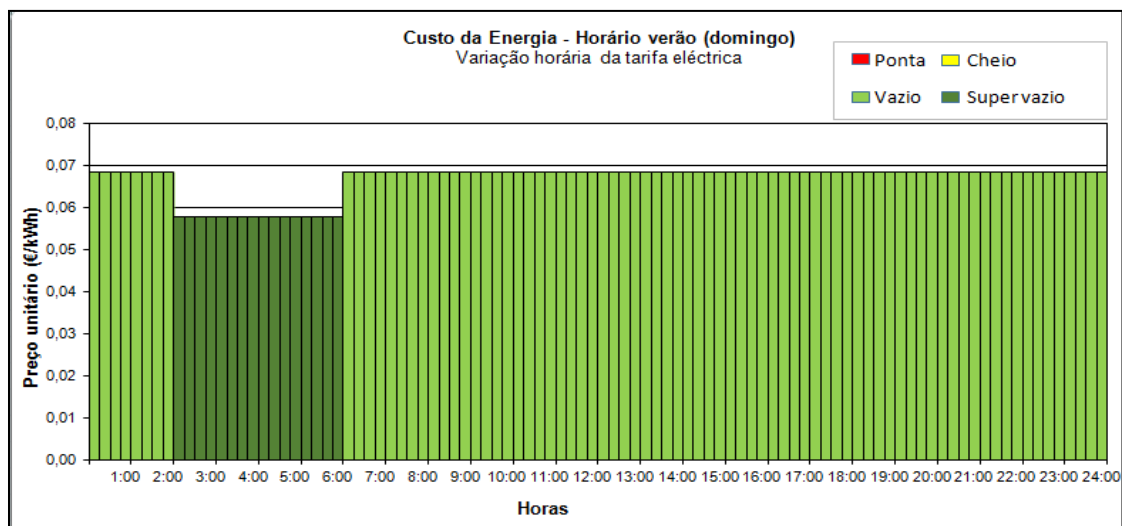


Figura B.3 - Padrão Horário da Tarifa Elétrica do período horário de verão para os domingos.

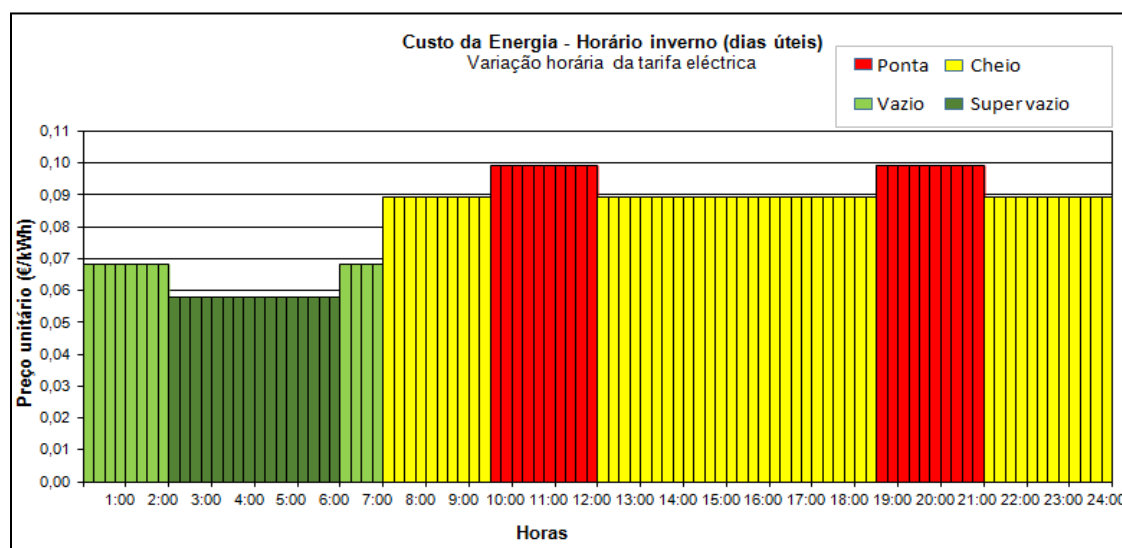


Figura B.4 - Padrão Horário da Tarifa Elétrica do período horário de inverno para os dias úteis.

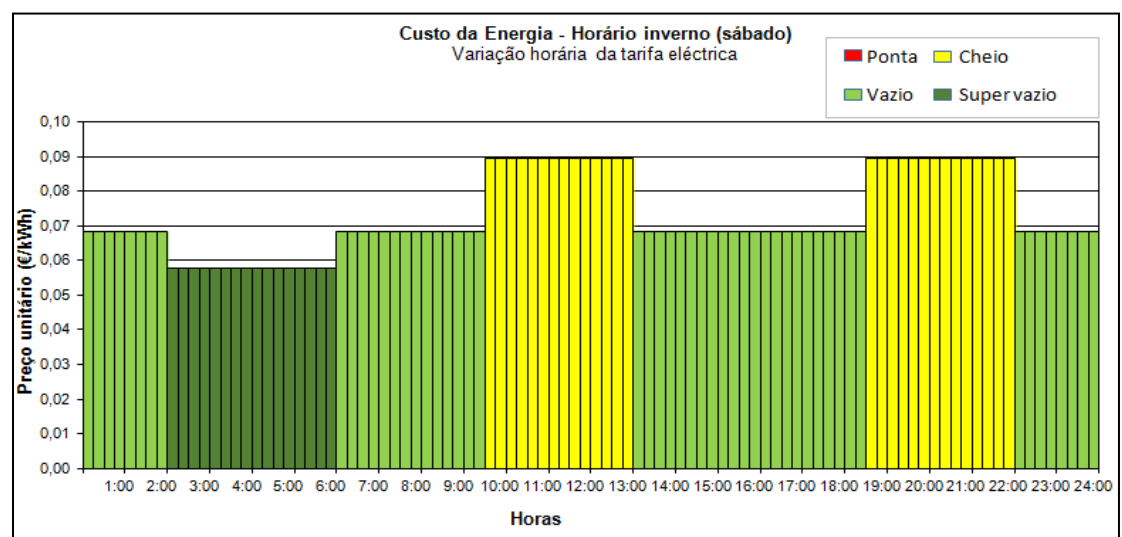


Figura B.5 - Padrão Horário da Tarifa Elétrica do período horário de inverno para os sábados.

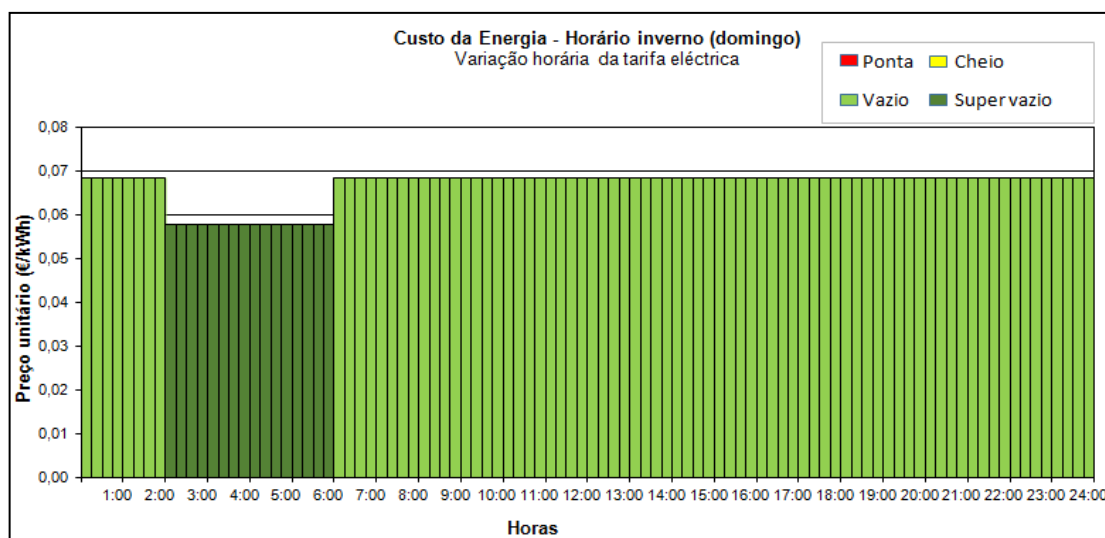


Figura B.6 - Padrão Horário da Tarifa Eléctrica do período horário de inverno para os domingos.